В. И. Хомич



ПРИЕМНЫЕ ФЕРРИТОВЫЕ АНТЕННЫ

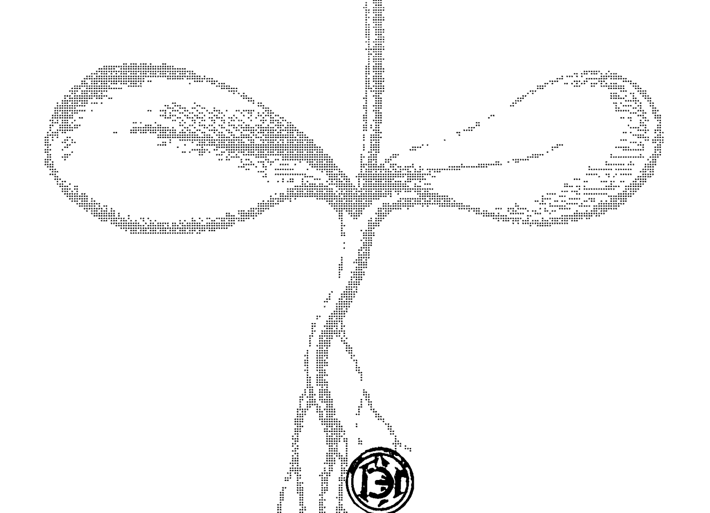
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 370

В. И. ХОМИЧ

ПРИЕМНЫЕ ФЕРРИТОВЫЕ АНТЕННЫ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1960 ЛЕНИНГРАД

В брошюре изложены основные принципы расчета и конструирования приемных ферритовых антенн. Помимо широкоизвестных антенн для портативных приемников, особое внимание в ней уделено ультракоротковолновым ферритовым антеннам. Рассмотрены также возможные пути совершенствования ферритовых антенн и описана методика измерения их параметров.

Брошюра рассчитана на подготовленного радиолюбителя.

Хомич Вадим Иванович

ПРИЕМНЫЕ ФЕРРИТОВЫЕ АНТЕННЫ

Редактор *В. Ю. Иваницкий* Техн. редактор *К. П. Воронин*

Сдано в набор 17/II 1960 г. Подписано к печати 9/IV 1960 г.
Т-04089. Бумага 84×108 $^{1}/_{32}$ 3,3 печ. л. Уч.-изд. л. 3,5.
Тираж 60 000 экз. Цена 1 р. 40 к. Заказ 2095

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

Характерной чертой послевоенного развития радиоэлектроники явилось широкое использование новых магнитных материалов. Малые потери энергии и постоянство характеристик в диапазоне радиочастот, а также ряд других замечательных свойств магнитных материалов обусловили быстрое и успешное их внедрение в практику конструирования радиоустройств.

Использование магнитных материалов привело к появлению новых радиодеталей и к разработке схем, улучшающих параметры аппаратуры. К числу таких элементов радиоаппаратуры относится новый тип магнитных антенн, так называемые ферритовые антенны, ставшие в последние годы обязательным элементом каждого современного приемника. Столь широкое распространение ферритовых антенн объясняется прежде всего их небольшими размерами и свойственной им пространственной избирательностью, позволяющей «отстроиться» от источников помех изменением положения антенны.

Направленные свойства ферритовых антенн (различная степень усиления радиоволн, приходящих с различных направлений) могут быть широко использованы в навигационных устройствах для определения направления на радиомаяки, т. е. специальные радиопередатчики, сигналы которых помогают прокладывать курс или определять местоположения судов или самолетов.

Большое распространение получили ферритовые антенны в так называемых «карманных» и переносных приемниках. Собранные на полупроводниковых элементах эти приемники, малогабаритные и экономичные, являются неизменными спутниками туристов в дальних походах и путешествиях.

Ферритовые антенны, как уже говорилось, принадлежат к обширному классу магнитных антенн.

Приемные свойства их оцениваются величиной и скоростью изменения магнитного потока, пронизывающего се-

чение такой антенны, и поэтому понятия магнитостатики— науки о постоянных магнитных полях — часто оказываются весьма плодотворными и широко используются при расчете магнитных антенн.

Простейшей магнитной антенной является рамка—виток электрического проводника, длина которого много меньше длины волны. Напряжение на ее выводах определяется площадью рамки, т. е. площадью, охватываемой витком. Недостатком рамки является ее малая по сравнению с электрическим диполем действующая высота. Если, например, диполь общей длиной в 2 *м* «свернуть» в круглую рамку, то действующая высота рамки на волне $\lambda=30$ *м* будет в 15 раз меньше действующей высоты диполя.

Введение внутрь рамки магнитного сердечника улучшает приемные свойства рамки вследствие увеличения магнитного потока в ней. Однако до недавнего времени антенны с магнитными сердечниками применялись мало вследствие низкого качества сердечников и увеличения потерь в антенне. Появление новых магнитных материалов — ферритов позволило улучшить приемные свойства магнитных антенн, уменьшив их размеры.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

СВОЙСТВА ФЕРРИТОВ И ЭЛЕМЕНТЫ ФЕРРИТОВОЙ АНТЕННЫ

1. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФЕРРИТОВ

Появлению ферритов предшествовало длительное развитие магнитных материалов, история которых уходит в далекое прошлое.

Открытие и промышленное применение переменного тока в прошлом веке потребовало разработки специальных материалов, пригодных для создания мощных магнитных полей. Таким материалом явилось железо и его сплавы. Появление телеграфии и телефонии, использовавших слабые электрические токи более высоких частот, предъявило новые требования к магнитным материалам, а начавшееся в нашем столетии развитие радиотехники привело к необходимости еще выше поднять частотную границу магнитных материалов.

В соответствии с повышением требований техники развивались и совершенствовались магнитные материалы. От сплошных металлических сердечников переходили к пластинчатым, ленточным и проволочным сердечникам с целью уменьшения потерь на вихревые токи.

Другим путем уменьшения потерь в сердечниках явилось применение магнитодиэлектриков—материалов, в которых частицы размельченного ферромагнитного вещества разделены между собой диэлектриком. К числу таких материалов принадлежат широко известные альсифер, карбонильное железо. Использовался некоторое время для изготовления магнитодиэлектриков и порошок магнитной руды — магнетит (феррит железа).

Однако, несмотря на успехи в развитии магнитных материалов, они до недавнего времени (примерно до 1946 г.) не могли удовлетворить требованиям, предъявляемым к ним электроникой. Лишь появление ферритов — оксид-

ных ферромагнетиков, сочетающих в себе высокие магнитные свойства с большим удельным сопротивлением, указало путь дальнейшего развития магнитных материалов. Исследования ферритов позволили открыть у них ряд новых свойств, что в свою очередь привело к развитию новых элементов аппаратуры.

Свойства ферритов могут быть раскрыты на основе рассмотрения их кристаллической решетки — строго определенного размещения атомов (ионов) вещества, от чего во многом зависят физические свойства материала: твердость, хрупкость и т. д. Кристалл феррита железа имеет кубическую форму, т. е. атомы железа и кислорода расположены в нем по вершинам. куба. Эти атомы жестко связаны между собой и соседними кристаллами силами внутреннего притяжения. В кристаллической решетке феррита железа атомы двувалентного железа можно заместить атомами других металлов, если эти атомы двувалентны и имеют примерно равный с атомами железа диаметр, так как в этом случае кубическая кристаллическая решетка в новом материале будет сохранена.

Наиболее «удобными» для замещения железа являются атомы металлов — марганца, магния, цинка, меди, никеля, кобальта.

Магнитные свойства ферритов зависят от вида металлических атомов «заместителей» и их геометрического размещения в кристаллической решетке. Так, если у феррита железа заместить часть двувалентных атомов железа атомами цинка, то магнитная проницаемость его резко увеличится, а проводимость уменьшится.

Большинство изготовляемых промышленностью оксидных ферромагнетиков представляют собой смешанные ферриты — твердые растворы двух или более простых ферритов.

Технология изготовления сердечников из ферритов мало отличается от технологии производства изделий из керамики. Существуют два метода приготовления ферритовых масс. Один — смешением окислов металлов, другой — смешением растворов солей. По первому методу окислы в определенном соотношении смешиваются, прессуются в брикеты и проходят предварительный обжиг при температурах 800—1 100° С. По второму методу смешанные растворы солей выпариваются, прокаливаются для получения смеси окислов и далее, как и при первом методе, прессуются и обжигаются. Второй метод позволяет получать

более высокие магнитные характеристики материалов с меньшим технологическим разбросом.

Брикеты, прошедшие предварительный обжиг, далее размалываются в порошок в шаровых или вибрационных мельницах. Полученный порошок после рассева идет для приготовления пресс-массы. В пресс-массу вводится пластификатор (поливиниловый спирт, парафин), количество которого зависит от технологии дальнейшей обработки материала: при протяжке и литье добавляется 10—15% поливинилового спирта, а при прессовании 6—8%. Температура окончательного обжига изделий из ферритов зависит от марки феррита и лежит в пределах 900—1 400° С. Обжиг ферритов обычно ведется в окислительной среде, но марганцевые ферриты обжигаются в нейтральной среде — вакууме.

В зависимости от технологии изготовления усадка сердечников из ферритов при обжиге может достигать 15%. Незначительные отклонения температуры обжига изменяют электрические и магнитные свойства ферритов и величину усадки. Поэтому для получения сердечников с однородными свойствами и с размерами в пределах допусков требуется строгое соблюдение режима обжига. Ферриты почти не поддаются механической обработке, их можно обрабатывать только абразивами, например корундом.

Ферриты относятся к классу полупроводников и в зависимости от состава и технологии изготовления могут иметь удельное сопротивление электрическому току от 10^2 до 10^8 *ом/см*. В то же время магнитные металлические материалы имеют сопротивление порядка $(10—15) \cdot 10^{-6}$ *ом/см*. Благодаря высокому удельному сопротивлению катушки с сердечниками из ферритов могут иметь очень большие добротности, превышающие 500 на низких частотах (порядка нескольких килогерц) и 300 на частотах 500—1 000 *кгц*.

Магнитная проницаемость феррита зависит от химического состава и структуры материала и может иметь порядок от единиц до нескольких тысяч гаусс/эрстед (*гс/э*) (табл. 1).

Известны ферриты с проницаемостью около 7 000 *гс/э*. Следует заметить, что марка феррита обычно включает в себя величину его проницаемости. Так, феррит с магнитной проницаемостью 600 *гс/э* имеет марку Ф-600. Очень важным свойством ферритов является сохранение высокой проницаемости в широком диапазоне частот (у метал-

Таблица 1

Параметры	Марки ферритов						
	Ф-20	Ф-100	Ф-400	Ф-600	Оксифер 1000	Оксифер 2000	Оксифер 3000
Начальная проницаемость μ_0, *гс/э*	20—25	1 000	400	600	800—1 200	1 800—2 400	2 600—3 500
Максимальная проницаемость $\mu_{макс}$, *гс/э*	80—1 000	150—200	—	3 000	3 000—3 500	6 000—7 000	5 000—6 000
Индукция насыщения B_s, *гс* . .	2 200—2 400	2 700	—	2 700—2 900	2 900	2 300	3 200
Температурный коэффициент проницаемости $\times 10^{-6}$	+330	+1 300	+700	+3 400	+8 300	+8 000	+3 150
Граничная частота $f_{гр}$, *Мгц* . .	80	15	7	4	2	0,7	0,9

Примечание. Температурные коэффициенты, приведенные в таблице, измерялись в области положительных температур от +20 до +60° С. В качестве образцов брались во всех случаях ферритовые кольца.

лических ферромагнетиков уменьшение проницаемости с ростом частоты зависит от толщины листа или ленты).

На рис. 1 приведена основная характеристика магнитного материала — петля гистерезиса, показывающая зависимость индукции B от напряженности намагничивающего поля H. Величина магнитной проницаемости μ определяется как тангенс угла наклона касательной к кривой намагничивания и изменяется в зависимости от намагничивающего поля в значительных пределах. Для ферритов, используемых в приемных антеннах, наибольшее значение имеет начальная магнитная проницаемость μ_0 — проницаемость материала при очень малых значениях напряженности намагничивающего поля. Площадь петли гистерезиса характеризует магнитные потери материала, величина B_r — остаточную

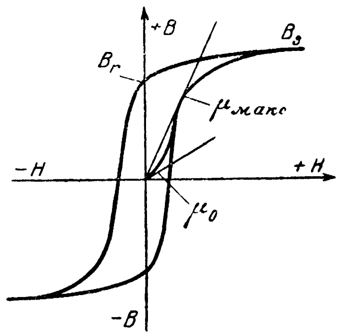


Рис. 1. Кривая намагничивания и петля гистерезиса феррита.

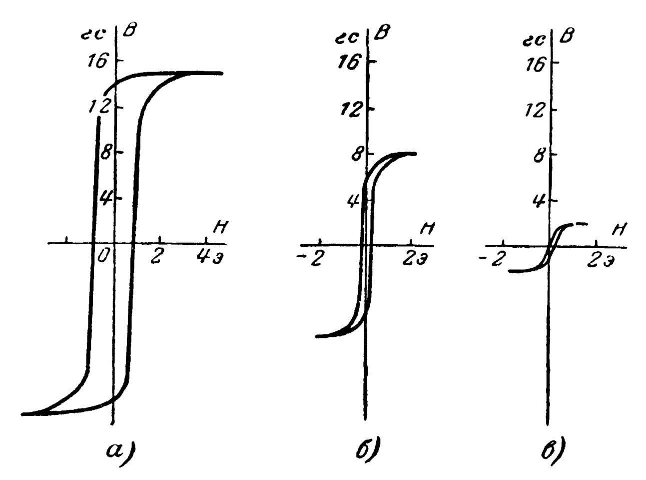


Рис. 2. Кривые гистерезиса.

а — трансформаторной стали; *б* — пермаллоя; *в* — феррита.

индукцию, B_s — индукцию насыщения. Высокое отношение B_r/B_s важно для магнитных переключателей, при-

меняющихся в счетно-решающих устройствах и магнитных усилителях. И, наконец, последняя величина, указанная на рисунке, μ_s называется максимальной магнитной проницаемостью, значение которой весьма существенно для строчных трансформаторов, дросселей и других устройств, работающих при больших напряженностях поля.

На рис. 2 показаны типичные кривые гистерезиса основных магнитных материалов (трансформаторной стали,

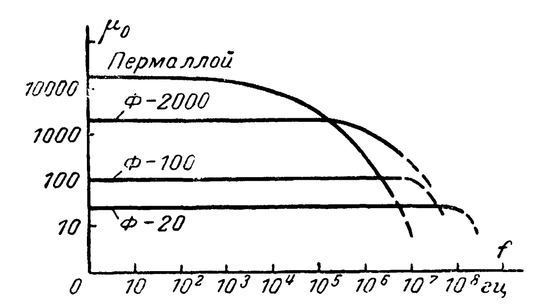


Рис. 3. Зависимость магнитной проницаемости ферритов от частоты.

пермаллоя и феррита), применяющихся в электротехнике. Эти кривые характеризуют основные особенности указанных материалов. В частности, для феррита характерны относительно малые величины проницаемости μ и индукции насыщения B_s и почти полное отсутствие остаточной индукции B_r.

Из-за высокого удельного сопротивления ферритов потери на вихревые токи в них практически отсутствуют, площадь петли гистерезиса мала, и преобладающими являются потери на последействие или магнитную вязкость, возрастающие с частотой. Частота, при которой начинаются падение проницаемости и резкое возрастание потерь, называется граничной или критической. На рис. 3 приведены зависимости магнитной проницаемости различных магнитных материалов от частоты.

Диэлектрическая проницаемость ферритов, как правило, имеет большие значения лишь на низких частотах: от нескольких тысяч (для никель-цинковых) до десятков тысяч (у марганцевых ферритов). Характерной особенностью диэлектрической проницаемости ферритов является ее зависимость от частоты, а именно резкое

уменьшение с ростом частоты (до величины, равной 10—20).

Основной недостаток ферритов — большие температурные коэффициенты проницаемости[1], так как точка Кюри[2] таких материалов лежит сравнительно недалеко от комнатных температур. Характерным для ферритов является рост температурных коэффициентов с увеличением магнитной проницаемости (рис. 4).

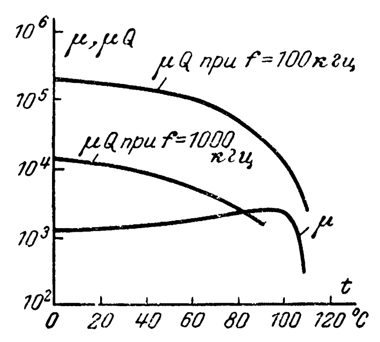


Рис. 4. График зависимости произведения μQ и μ от температуры.

2. СЕРДЕЧНИКИ МАГНИТНЫХ АНТЕНН, ИХ ВЫБОР И ХАРАКТЕРИСТИКИ

Свойства магнитных тел во многом зависят от их формы. Данные о магнитной проницаемости, приведенные в табл. 1, характеризуют начальную проницаемость μ_0 тороидальных сердечников. Сердечники ферритовых антенн имеют вытянутую форму, т. е. длина их значительно превосходит толщину, ширину или диаметр. Другой отличительной особенностью антенных сердечников является наличие воздушного зазора между концами (полюсами). Магнитная проницаемость таких тел зависит от соотношения между длиной и площадью сечения сердечника.

Объяснение этой зависимости может быть дано исходя из самой природы магнетизма. В ферромагнитном теле под действием намагничивающего поля происходит переориентация магнитных моментов ферромагнитных частиц таким образом, что положительные полюсы смещаются в направлении внешнего поля, а отрицательные — навстречу ему. Ориентированные частицы создают дополнительное магнитное поле, противодействующее внешнему полю. Величина дополнительного или размагничивающего поля опреде-

[1] Температурным коэффициентом магнитной проницаемости называется относительная величина изменения проницаемости при изменении температуры на 1° С.

[2] Точкой Кюри называется температура, выше которой материал теряет магнитные свойства.

ляется размерами тела. Чем тело короче по сравнению с поперечными размерами, тем больше сказывается влияние размагничивающего поля. Учет влияния этого поля относительно прост лишь для эллипсоидальных сердечников и выражается введением коэффициента размагничивания N, зависящим от соотношения между большой и малой осями эллипсоида. Величина размагничивающего коэффициента изменяется от 0 (для бесконечно длинного эллипсоида) до 1 (для диска). Магнитная проницаемость тела с учетом его формы и размеров называется эффек-

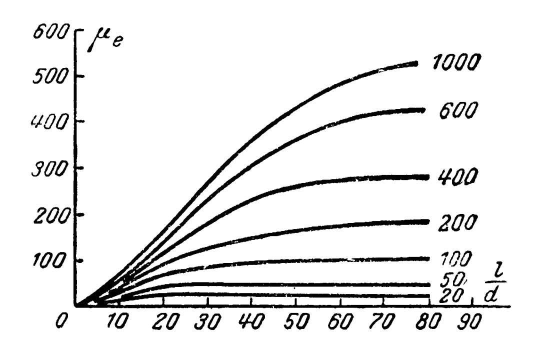


Рис. 5. Зависимость эффективной магнитной проницаемости μ_e сердечника от соотношения l/d.

тивной проницаемостью μ_e. Она измеряется в относительных единицах и показывает, во сколько раз увеличивается плотность магнитного потока в данном теле по сравнению с плотностью потока в вакууме. Эффективная проницаемость эллипсоида определяется следующей простой формулой:

$$\mu_e = \frac{\mu_0}{1 + \frac{N}{4\pi}(\mu_0 - 1)}.$$

На практике сердечники антенн в подавляющем числе случаев имеют форму, отличную от эллипсоида (цилиндрическую, параллелепипеда, призмы). Поправку на форму сердечника можно определить либо по экспериментальным кривым, выражающим зависимость $\mu_e = f\left(\frac{l}{d}\right)$ (рис. 5),

либо по таблицам (см. табл. 2), либо по эмпирическим формулам. Хорошие результаты дает, например, следующая формула:

$$\mu_e = \frac{\mu_0}{1 + 0{,}84\left(\frac{d}{l}\right)^{1,7}(\mu_0 - 1)},$$

где d — диаметр цилиндрического сердечника;
l — его длина.

Таблица 2

l/d	μ_e для сердечников с начальной проницаемостью			
	$\mu_0 = 5$	$\mu_0 = 10$	$\mu_0 = 100$	$\mu_0 \geq 200$
1	2,25	3,0	3,2	3,5
2	3,3	4,6	6,5	8
3	3,85	6,0	10	12
4	4,2	6,7	15	18
5	4,35	7,2	20	24
6	4,5	7,8	25	31
8	4,7	8,3	34	37
10	4,8	9,1	41	>63
15	4,85	9,4	52	>78
20	4,9	9,6	60	>95

Выбор марки феррита целиком определяется назначением антенны и рабочим диапазоном частот. К этому вопросу мы будем возвращаться на протяжении всей брошюры.

Практически считается, что для антенн длинноволнового диапазона наиболее целесообразно использовать сердечники марки Ф-600 или Ф-1000, а для диапазона средних волн — Ф-400 или Ф-600. В антеннах коротких волн имеет смысл применять сердечники с начальной магнитной проницаемостью порядка 100—200 *гс/э*, а в антеннах УКВ — порядка 15—25 *гс/э*.

Форма сечения сердечника играет значительно меньшую роль по сравнению с соотношением продольных и поперечных размеров или выбором материала сердечника. Обычно она выбирается исходя из конструктивных соображений. Наиболее часто применяются круглые сечения, реже прямоугольные (пластинчатые сердечники), еще реже—сечения в виде правильных многоугольников (призматиче-

ские сердечники). Могут использоваться также полые цилиндрические сердечники. Дело в том, что на высоких частотах возможно неравномерное распределение намагничивающего потока по сечению сердечника, что приводит

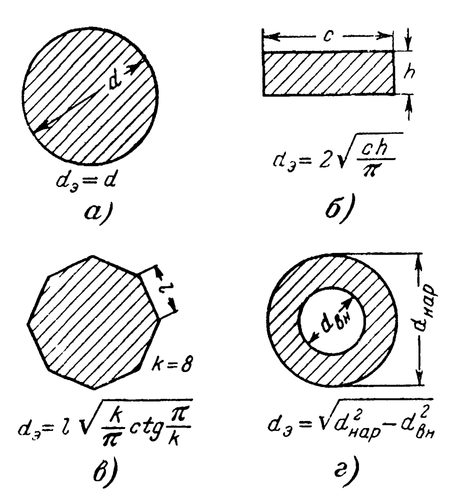


Рис. 6. Сечения и эквивалентный диаметр сердечников.

а — цилиндрического; *б* — пластинчатого; *в* — призматического; *г* — полого цилиндрического.

к плохому использованию магнитного материала во внутренних областях сердечника. Отсюда и вытекает целесообразность применения полых сердечников: малоэффективные области магнитопровода сердечника исключаются.

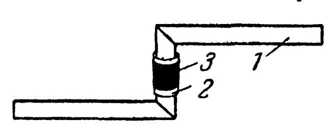


Рис. 7. Антенна с Z-образным сердечником.

1 — сердечник; *2* — каркас; *3* — обмотка.

При расчете эффективной проницаемости все виды сечения сердечников ферритовых антенн приводятся к круглому. Формулы для определения диаметра $d_э$ равновеликого по площади круга приводятся на рис. 6.

Иногда появляется необходимость изготовления «ломаных» сердечников, к числу которых принадлежит, например, Z-образный сердечник (рис. 7). Такой сердечник позволяет в целях избавления от помех изменять положение антенны без изменения положения катушки.

Сердечник подобной конфигурации можно получить, склеивая отдельные части — горизонтальные и вертикальные — клеем БФ или эпоксидной смолой. Соприкасающиеся поверхности сердечников должны быть отшлифованы и приклеены в соответствии с общепринятой технологией. При склеивании необходимо следить за температурой, при которой высушивается собранный сердечник, с тем чтобы она не поднималась до точки Кюри.

Помимо температуры, на магнитные свойства сердечников влияют сильные постоянные магнитные поля. Это следует учитывать при шлифовке сердечника, так как на шлифовальных станках крепление зачастую производится с помощью сильных магнитов. Намагничивание сердечника приводит к заметному увеличению потерь. При обработке сердечников надо помнить, что ферриты по своим механическим свойствам подобны керамике и могут расколоться при неосторожном обращении с ними.

3. ОСОБЕННОСТИ АНТЕННЫХ КАТУШЕК

Антенная катушка является обязательным элементом ферритовой антенны. На рис. 8 представлено схематиче-

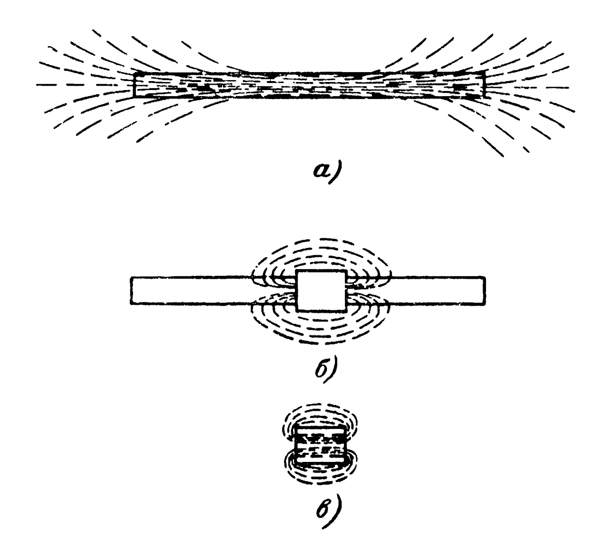


Рис. 8. Магнитные поля ферритовой антенны.

а—„внешнее“ магнитное поле (поле, видоизмененное внесением магнитного стержня); *б*—„внутреннее“ магнитное поле (силовые линии антенной катушки); *в* — поле катушки без сердечника.

ское изображение внешнего поля, видоизмененного под влиянием внесенного ферритового стержня, и внутреннего поля антенной катушки. Взаимосвязь обоих полей определяет приемные свойства самой антенны.

Антенная катушка ферритовой антенны выполняется обычно в виде многовитковой катушки и является частью (индуктивной ветвью) входного контура. Электрические свойства ее выражаются индуктивностью L и добротностью Q — величиной, оценивающей потери катушки и зависящей от отношения индуктивного сопротивления настроенной катушки к ее активному сопротивлению. Обе эти величины L и Q находятся в зависимости от свойств сердечника: его магнитной проницаемости и магнитных потерь, относительного расположения катушки и сердечника и т. д. На рис. 9 обозначены наиболее существенные

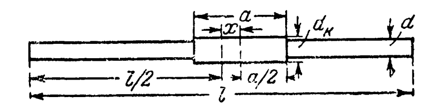


Рис. 9. Физические размеры ферритовой антенны.

физические размеры, характеризующие расположение антенной катушки.

Использование ферромагнитного сердечника в антенной катушке приводит к увеличению индуктивности ее. Индуктивность воздушной катушки L_0 (в *гн*) определяется обычно формулой

$$L_0 = w^2 d_к \Phi \cdot 10^{-9},$$

где w — число витков;

$d_к$ — диаметр катушки, *см*;

Φ — постоянная, зависящая в основном от отношения диаметра катушки к ее длине.

Значение Φ вычисляется при $0{,}25 < a/d_к < 1{,}3$ по формуле

$$\Phi = 1 + 6\,\frac{d_к}{a},$$

где a — длина катушки.

Индуктивность антенной катушки с ферритовым стержнем увеличивается в число раз, определяемое коэффициентом $\mu_к$.

Коэффициент $\mu_к$ численно выражает перераспределение магнитных сопротивлений на пути магнитного потока, происшедшее в катушке индуктивности при введении сердечника. Магнитное сопротивление внутреннего участка пути магнитного потока в воздушной катушке превышает сопротивление внешнего участка примерно в 6—10 раз (в зависимости от конструкции катушки). Введение стержня внутрь катушки резко уменьшает магнитное сопротивление внутреннего участка — оно становится пренебрежимо малым по сравнению с сопротивлением внешнего участка. В соответствии с этим и величина $\mu_к$ изменяется в зависимости от начальной магнитной проницаемости сердечни-

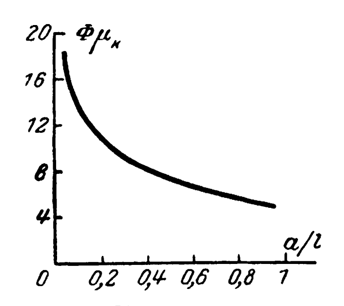


Рис. 10. Изменение произведения $\Phi\mu_к$ при относительном увеличении длины антенной катушки ферритовой антенны.

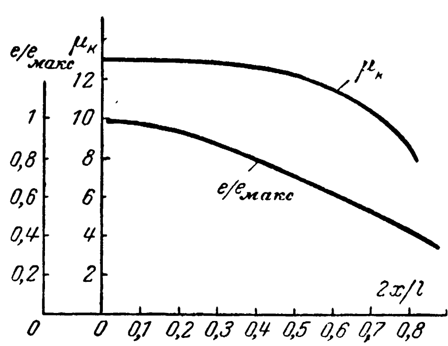


Рис. 11. Изменение $e/e_{макс}$ и $\mu_к$ при изменении соотношения $2x/l$.

ка, размеров сердечника и конструкции катушки — в пределах от 5 до 12. Таким образом, индуктивность катушки с сердечником превышает индуктивность катушки без сердечника в 5—12 раз.

Изменение произведения $\Phi\mu_к$ средневолновой ферритовой антенны при относительном увеличении длины катушки для $l=200$ *мм*; $d=8$ *мм*; $\mu_0=200$ и $w=30$ показано на рис. 10. На величину $\mu_к$ (а следовательно, и индуктивность катушки) влияет положение катушки на сердечнике — чем дальше отодвинута катушка от центра стержня, тем меньше индуктивность ее (рис. 11). Этим эффектом часто пользуются при регулировке индуктивности антенной катушки. Несмотря на конструктивные удобства подобной регулировки, следует иметь в виду, что при перемещениях катушки от центра магнитный поток в сече-

нии стержня уменьшается (в силу неравномерности поля в сердечнике), что приводит к уменьшению наводимой в катушке э. д. с. e по сравнению с э. д. с. $e_{макс}$ катушки, расположенной в центре (рис. 11).

Добротность антенной катушки в значительной степени определяет приемные свойства ферритовой антенны—при условии, что отсутствуют дополнительные источники потерь в контуре, она прямо пропорциональна величине напряжения входного контура.

Эквивалентная схема антенной катушки (рис. 12) изображается в виде последовательно включенных активного

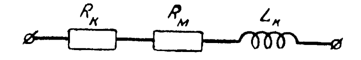


Рис. 12. Эквивалентная схема антенной катушки ферритовой антенны.

сопротивления обмотки $R_к$, сопротивления магнитных потерь $R_м$ и индуктивности L. Для обычных ферритовых антенн $R_к \ll R_м$, и поэтому добротность, определяемая по формуле

$$Q = \frac{2\pi f L}{R_к + R_м} \approx \frac{2\pi f L}{R_м},$$

зависит в основном от магнитных свойств сердечника. Потери в магнитных сердечниках могут быть выражены формулой, в известной мере объясняющей широкое применение ферритов в области высоких частот:

$$R_м = b\mu f^2 L + a\mu f B L + c\mu f L,$$

где L — индуктивность катушки, *гн*;
f — частота, *гц*;
b — коэффициент вихревых токов, обратно пропорциональный удельному сопротивлению;
a — коэффициент гистерезиса, зависящий от площади петли гистерезиса;
c — коэффициент, зависящий от магнитной вязкости материала.

Поскольку величины b и a для ферритов малы, то и общее сопротивление потерь мало. Приведенное выше равенство применимо к ферритам лишь в области частот ниже критической, начиная с которой проницаемость и доб-

ротность материала начинают быстро падать. За критическую частоту принимается частота, на которой добротность снижается до 10.

Выдающийся русский физик В. К. Аркадьев, исследовавший природу магнитных материалов, еще в 1912 г. предсказал, что, помимо вихревых токов, в магнитных материалах действуют и другие факторы, приводящие к росту потерь и падению магнитной проницаемости. Первым из таких факторов является так называемый доменный резонанс. Доменами в магнитном материале называются области, в которых магнитные моменты частиц имеют ярко выраженную направленность. Границей между доменами (стенкой домена) называется район, в котором направление магнитных моментов переходит в направление другого домена. Вследствие инерции, действия кристаллических сил (эластичности) и наличия потерь стенка домена может начать резонировать на определенной частоте, подобно контуру, состоящему из R, L и C, или будет релаксировать, если потери велики. Феноменологически резонанс проявляется в виде поглощения энергии (роста потерь).

Вторым фактором является ферромагнитный резонанс, который возникает, когда частота приложенного переменного поля совпадает с частотой так называемой прецессии. Электроны вещества, помимо вращения по орбите, вращаются вокруг своей оси. Магнитный момент этого вращения ориентирован в общем случае произвольно. При воздействии на электрон постоянного магнитного тока возникает прецессия — относительно медленное вращение магнитного момента.

Было замечено также, что при воздействии поперечного магнитного поля на ферритовую пластину, помещенную в волноводе, некоторые типы волн поглощаются пластиной, т. е. часть энергии волн идет на поддержание прецессии. Другие волны распространяются в этом волноводе без потерь. Эти явления наиболее ярко выражены при совпадении частоты прецессии и частоты поля. Таким образом, один и тот же материал обладает различными свойствами для различно поляризованных волн. Частота прецессии является зависящей от постоянного поля. Это явление наблюдается обычно на частотах порядка нескольких тысяч мегагерц, когда материал насыщается приложенным к нему сильным постоянным магнитным полем. Резонанс проявляется в виде резкого возрастания потерь и изменения величины проницаемости для полей определенной поляри-

зации. Явление ферромагнитного резонанса, точнее зависимость частоты резонанса от величины приложенного постоянного поля, широко используется в диапазоне СВЧ.

Размерный резонанс возникает в сердечниках, размеры которых соответствуют половине длины электромагнитной волны. Такое явление может возникнуть, в частности, в марганцево-цинковых ферритах, в которых магнитная проницаемость достигает величины 1 000, а диэлектрическая проницаемость 100 000. Размерный резонанс проявляется так же, как и в ранее описанных случаях, в виде увеличения потерь.

В. К. Аркадьев предложил выражать магнитную проницаемость тела (в нашем случае антенной катушки с ферритовым стержнем) в виде комплексной величины

$$\overline{\mu} = \mu' + j\mu'',$$

где вещественная часть μ' отражает собственно магнитную проницаемость тела, а μ'' отражает потери, в том числе и на излучение. При таком подходе к рассмотрению магнитной проницаемости можно отметить ряд интересных свойств магнитных антенн. Величина μ'' определяется прямыми измерениями, как произведение магнитной проницаемости тела на тангенс угла потерь $\mu'' = \mu' \operatorname{tg} \delta \approx \mu \frac{R_{м}}{\omega L}$.

С помощью этого понятия получены формулы, выражающие, в частности, зависимость полного сопротивления антенны и ее добротности от параметров стержня и намотки. Так, активное сопротивление антенны, имеющей сердечник в виде эллипсоида и сплошную по всей длине намотку, выражается формулой

$$R_{м} = \omega \mu_{в} w^{2} \frac{s\Phi}{10a} \frac{\mu''(1 - N)}{[1 + N(\mu' - 1)]^{2}},$$

где $\mu_{в}$ — проницаемость воздуха, а добротность для малых антенн—формулой

$$Q = \frac{\mu'[1 + N(\mu' - 1)]}{\mu''(1 - N)}.$$

Остановимся подробнее на применяемых в антенных катушках видах намотки. Вид намотки катушки в значительной мере влияет на свойства антенны. При выборе его следует исходить из числа витков, диапазона работы антенны, размеров сердечника и диаметра применяемого провода.

В длинноволновом и средневолновом диапазонах наиболее употребительна сплошная (виток к витку) однорядная намотка (при диаметрах сердечника до 10 *мм*), однако более выгодной, обеспечивающей лучшие приемные свойства (но и более трудоемкой), является распределенная намотка с принудительным шагом (равномерным или прогрессивным). Такая намотка возможна при относительно малом числе витков (не более 30), когда диаметр стержня достаточно велик. Распределенная намотка применяется также и в катушках коротковолновых и, особенно, ультракоротковолновых антенн.

Иногда антенная катушка разбивается на секции. Это делается как для удобства переключения диапазонов, так и для получения наибольшей эффективности ферритовой антенны. Более подробные сведения по расчету секционированных антенных катушек приведены в следующей главе.

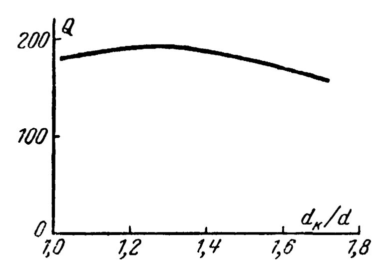


Рис. 13. Изменение добротности средневолновой антенной катушки при относительном увеличении диаметра каркаса.

Конструкция антенной катушки (ее длина и диаметр) оказывает существенное влияние на добротность. В частности, если при неизменных размерах стержня и одном и том же числе витков антенной катушки увеличивать диаметр каркаса, то добротность катушки сначала увеличивается, достигает некоторого максимума, после чего начинает уменьшаться (рис. 13). Увеличение диаметра антенной катушки приводит в то же время к некоторому уменьшению эффективной проницаемости сердечника μ_e, которое можно учитывать с помощью формулы

$$\mu_e' = \frac{D_{ср}^2}{d^2}(\mu_e - 1) + 1,$$

где $D_{ср}$ — средний диаметр намотки антенной катушки;
d — диаметр стержня.

Увеличение длины катушки приводит обычно также к некоторому уменьшению ее добротности.

Каркас катушки для антенн длинно- и средневолнового диапазонов выполняется обычно из прессшпана. Для коротковолнового и в особенности УКВ диапазонов следует

использовать материалы с малыми потерями, такие как полистирол, фторпласт.

Выбор марки провода антенной катушки оказывается весьма важным в том случае, когда обмотка выполняется сплошной (виток к витку). Для катушек средне- и длинноволнового диапазонов применение литцендрата 9×0,7 дает увеличение Q на 150—200% по сравнению с обычным медным эмалированным проводом. При намотке с шагом 1,5—2 *мм* влияние марки провода на качество катушки незначительно.

Интересным свойством антенных катушек ферритовых антенн является сохранение постоянства произведения $\mu_e Q$ во всем рабочем диапазоне частот. Это свойство облегчает выбор параметров катушки, как будет показано ниже. Вместе с тем само произведение μQ не остается на всех частотах постоянным и за пределами рабочего диапазона частот уменьшается по мере роста частоты.

ГЛАВА ВТОРАЯ

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРИЕМНЫХ ФЕРРИТОВЫХ АНТЕНН

4. ПРИЕМНЫЕ СВОЙСТВА ФЕРРИТОВЫХ АНТЕНН

Приемная антенна преобразует энергию электромагнитного поля в электрические колебания, усиливаемые далее приемником. Качество этого преобразования может быть оценено «действующей высотой» антенны h коэффициентом, связывающим напряженность электрического поля E с величиной e—э. д. с., развиваемой антенной. Действующая высота зависит от соотношения между геометрическими размерами антенны и длиной принимаемой волны и измеряется в единицах длины.

Классической моделью простейшей антенны является диполь Герца (рис. 14,*а*). Действующая высота диполя Герца равна его длине — $2l$ и, следовательно, э. д. с. антенны определяется простой формулой

$$e = Eh = 2lE.$$

Его способность принимать радиоволны из окружающего пространства неодинакова и выражается диаграммой направленности (рис. 14,*б*), которая показывает отношение э. д. с. антенны, наведенной волной данного направления, к наибольшей э. д. с., возбуждаемой при приеме с главно-

го направления. Главные направления приема для диполя Герца лежат в экваториальной плоскости, т. е. плоскости, перпендикулярной оси диполя и проходящей через его центр (рис. 14,*б*).

Структура электрического и магнитного полей элементарного электрического диполя показана на рис. 14,*в*.

Так как все электрические величины (ток, напряжение, напряженность поля) имеют свои магнитные аналогии, то в соответствии с этим можно легко представить и аналогию электрическому диполю — идеальный магнитный диполь (рис. 14,*г*). Поля магнитного диполя изображены на рис. 14,*г*. Из сравнения их с полями электрического диполя видно, что символы E и H поменялись местами, а вме-

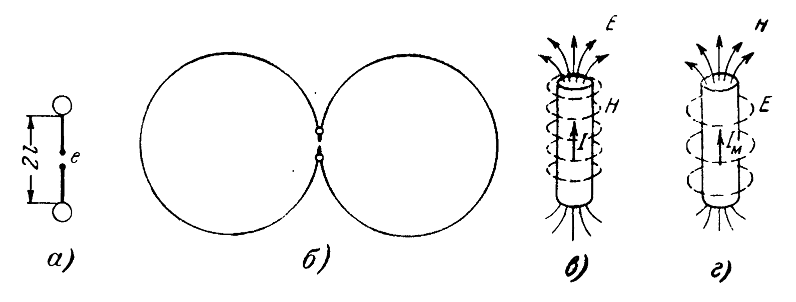


Рис. 14. Элементарные антенны.
а — диполь Герца; *б* — диаграмма направленности диполя Герца; *в* — идеальный электрический диполь; *г* — идеальный магнитный диполь.

сто реального электрического тока I на рисунке изображен магнитный ток смещения.

Различие между электрическими и магнитными антеннами наглядно видно из сравнения сопротивлений излучения их. Сопротивление излучения характеризует мощность излучения передающей антенны при условии, что ток и напряжение на входе антенны заданы.

Оно связано с действующей высотой простой формулой

$$R_{\Sigma} = 20(mh)^2,$$

где $m = \frac{2\pi}{\lambda}$;

λ — длина волны.

Подставив в эту формулу значение действующей высоты ферритовой антенны, можно определить, что сопротивление излучения ее составляет всего лишь доли ома. В то же время сопротивление излучения электрических антенн

достигает десятков ом (в частности, для полуволнового вибратора оно равно 73 *ом*).

Однако проигрыш в сопротивлении излучения частично компенсируется резонансными свойствами ферритовой антенны, приводящими в конечном итоге к увеличению тока в антенной катушке или напряжения на ее зажимах.

Действующая высота ферритовой антенны определяется величиной магнитного потока в сердечнике и степенью связи этого потока с антенной катушкой. В соответствии с этим в расчетную формулу, определяющую действующую высоту, входят эффективная проницаемость сердечника μ_e, площадь сечения сердечника S, длина рабочей волны λ, а также число витков антенной катушки w:

$$h_д = \frac{2\pi w S}{\lambda} \mu_e.$$

Антенная катушка, как уже говорилось, используется в качестве индуктивности входного контура, который подключается обычно непосредственно к входу приемника Наилучшие результаты ферритовая антенна дает при использовании в первом каскаде приемника электронной лампы. В этом случае, если входное сопротивление лампы $R_{вх}$ значительно превосходит эквивалентное сопротивление контура $R_э$, не оказывая шунтирующего действия на контур (т. е. соблюдается условие $R_{вх} \gg R_э$), то напряжение на контуре увеличивается в $Q_к$ раз. Величиной $Q_к$ оценивается качество входного контура, определяющееся в основном добротностью катушки Q. Входной контур предстает, таким образом, в виде трансформатора э. д. с., наводимой в антенне. Часто для обозначения суммарного действия антенны и входного контура прибегают к понятию „приведенная действующая высота“ или „эффективность ферритовой антенны“, которую определяют формулой

$$h'_д = h_д Q_к.$$

Понятие $h'_д$ позволяет, зная напряженность электромагнитного поля, определить значение напряжения $U_{вх}$ на управляющей сетке входной лампы, которое выражается в следующем виде:

$$U_{вх} = E h'_д.$$

Пользуясь приведенными формулами, можно провести сравнение приемных антенн, в частности двух наиболее распространенных типов комнатных антенн: обычного вертикального провода длиной 2 *м* и ферритовой антенны, встроенной внутрь приемника, сердечник которой имеет длину 200 *мм*, диаметр 15 *мм* и начальную проницаемость $\mu_0=200$. Добротность антенной катушки ферритовой антенны примем равной 200 ($w=75$, $\mu_e=70$ и $L=0,8$ *мгн*). Сравнительный расчет будем вести на частоте 1 *Мгц* ($\lambda = 300$ *м*).

Параметр	Вертикальный провод	Ферритовая антенна
Коэффициент усиления входной цепи . . .	3	200
Действующая высота	2 *м*	0,02 *м*
Эффективность	6 *м*	4 *м*
Напряжение на сетке лампы при $E=100$ *мкв/м*	600 *мкв*	400 *мкв*

Как показывает расчет, ферритовая антенна несколько уступает по эффективности вертикальному проводу длиной 2 *м*, однако она, несомненно, более компактна. Помимо компактности, ферритовая антенна обладает рядом других ценных качеств. Высокая добротность входного контура, в который входит катушка ферритовой антенны, обеспечивает хорошую избирательность входного сигнала по частоте, уменьшая помехи от соседних станций. Ширина полосы пропускания (полоса частот, в которой ослабление мощности сигнала не превышает 2) может быть найдена как частное от деления значения частоты на добротность. Для нашего случая ($f=1$ *Мгц*) ширина полосы пропускания составит всего 5 *кгц*, а при ослаблении в 10 раз — около 40 *кгц*. Узкая полоса пропускания на входе приемника способствует лучшей защите от шумов индустриального происхождения (разряды электрического тока, импульсные помехи и т. д.), которые содержат широкий спектр частот. Высокая избирательность ферритовой антенны позволяет в ряде случаев отказаться в приемнике от усилителя высокой частоты, поскольку помехи по зеркальному каналу резко ослабляются.

Не менее ценным качеством ферритовой антенны является возможность осуществления пространственной избирательности изменением ее ориентировки. Диаграмма направленности магнитной антенны в горизонтальной плоскости, представленная на рис. 15, имеет характер «восьмерки» для волн нормальной поляризации. Если в частном случае на антенну воздействует, помимо полезного сигна-

ла, мешающий сигнал с другого направления, то, поворачивая антенну на некоторый угол φ, можно значительно ослабить мешающий сигнал.

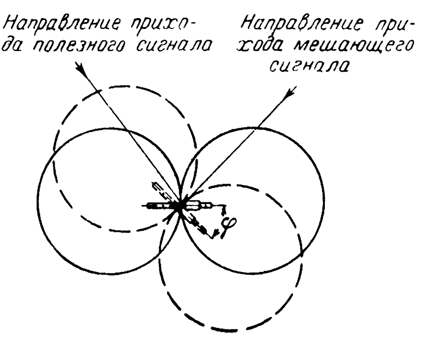


Рис. 15. Пространственная избирательность ферритовой антенны.

Интересны частотные свойства ферритовых антенн. Рост потерь в ферритах с большим значением μ при увеличении частоты приводит к необходимости для сохранения достаточно высоких значений Q использовать ферриты с меньшей проницаемостью. На рис. 16 показано снижение магнитной проницаемости при увеличении частоты у ферритов, которые применяются в качестве сердечников антенн в радиочастотном диапазоне. Уменьшение проницаемости, несомненно, уменьшает действующую высоту ферритовых антенн, однако против этой отрицательной тенденции действует другая — при неизменных и малых по сравнению с λ геометрических размерах приемные свойства антенны с увеличением частоты улучшаются. В конечном итоге, как показывает практика, ферритовые антенны могут быть применены без заметного снижения их эффективности повсюду, начиная с длинноволнового и кончая ультракоротковолновым (метровым) диапазоном (рис. 16).

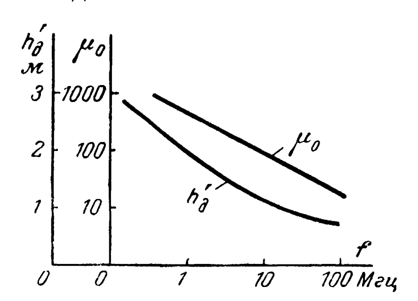


Рис. 16. Изменение начальной проницаемости μ_0 и эффективности $h_д$ ферритовых антенн на различных частотах.

5. СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ПРИЕМНЫХ ФЕРРИТОВЫХ АНТЕНН

Выбор схемы входа должен производиться с учетом высказанных выше соображений: необходимости получения наибольшей действующей высоты и сохранения максимальной добротности. При выборе схемы нужно учитывать также способ согласования антенны с последующими каскадами радиоприемника и, кроме того, в каждом отдельном случае роль и назначение антенны и радиоприемного устройства в целом. В портативных переносных приемниках, например, основными являются конструктивные соображения, в то время как в больших настольных приемниках необходимо предусмотреть максимальную эффективность антенны.

Как известно, антенна отдает наибольшую мощность в том случае, когда ее внутреннее сопротивление равно сопротивлению нагрузки. С этой точки зрения следовало бы добиваться равенства сопротивлений входного контура $R_э$ и входного сопротивления лампы $R_{вх}$. Однако, если рассматривать лампу как усилитель напряжения, целесообразно бывает увеличить напряжение на входном контуре, хотя бы мощность, отдаваемая при этом контуром, а следовательно, и антенной, была бы меньше возможной. Условием получения наибольшего напряжения на контуре следует считать следующее неравенство:

$$R_{вх} \geqslant 3R_э.$$

При малом входном сопротивлении лампы добротность входного контура, а следовательно, и коэффициент усиления входной цепи значительно падают, что приводит к уменьшению эффективности антенны. Обычно это случается в коротко- и, главным образом, в ультракоротковолновом диапазонах, где сопротивление входа лампы, приводимое в справочниках для какой-нибудь определенной частоты, например 60 *Мгц*, начинает уменьшаться обратно пропорционально квадрату частоты.

Так, если для лампы 2Ж27Л $R_{вх}$ на частоте 60 *Мгц* составляет 15 *ком*, то на частоте 30 *Мгц* оно будет уже 60 *ком*, а на частоте 90 *Мгц* — всего 6,66 *ком*.

Согласование входа лампы с контуром достигается неполным включением контура. На рис. 17 показаны различные схемы включения: автотрансформаторная (*а*), индуктивная (*б*), емкостная (*в*) и полное включение антенны (*г*). Каждый из этих способов включения имеет свои до-

стоинства. Автотрансформаторное включение удобно применять, если точно известны величины входного сопротивления каскада $R_{вх}$ и эквивалентного сопротивления

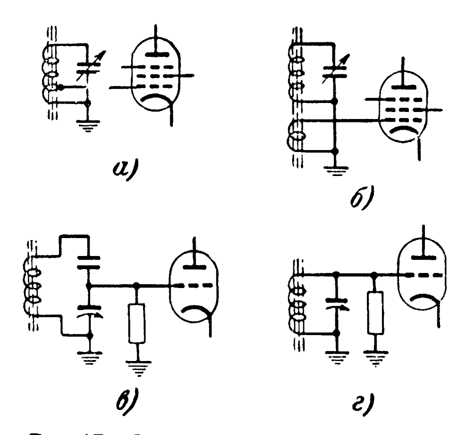


Рис 17. Способы подключения ферритовых антенн в ламповом каскаде.

а — автотрансформаторная связь; *б* — индуктивная связь; *в* — емкостная связь; *г* — полное включение.

$R_э$ контура. В этом случае число витков антенной катушки $w_{св}$, с которых напряжение подается на сетку лампы, может быть определено по формуле

$$w_{св}=\sqrt{\frac{R_{вх}}{3R_э}w^2},$$

где $R_э$ — эквивалентное сопротивление входного контура, равное $Q\rho$ или $Q\omega L$;

w — полное число витков антенной катушки.

Индуктивная связь — более гибкая. Она позволяет, изменяя взаимоиндуктивность между катушкой связи и антенной катушкой за счет перемещения катушки связи при неподвижной антенной катушке, добиваться опытным путем наилучшего эффекта. Такая связь оказывается также весьма удобной в том случае, когда первая лампа является преобразователем. Катушка связи размещается на сердечнике ферритовой антенны.

Емкостная связь (рис. 17,*в*) обычно используется в таких устройствах, где осуществляется беспоисковый прием,

т. е. прием без перестройки антенного контура. Полное включение ферритовой антенны (рис. 17,*г*) наиболее широко применяется на средне- и длинноволновом диапазонах.

Вопрос выбора соответствующей связи между антенной и входом приемного устройства приобретает особое значение в устройствах, собираемых на полупроводниковых приборах, характеризующихся весьма малыми по сравнению с электронными лампами входными сопротивлениями (порядка нескольких сотен ом) и большими значениями входной емкости. Это приводит к необходимости применения малой связи антенны с входным каскадом. На рис. 18,*а*

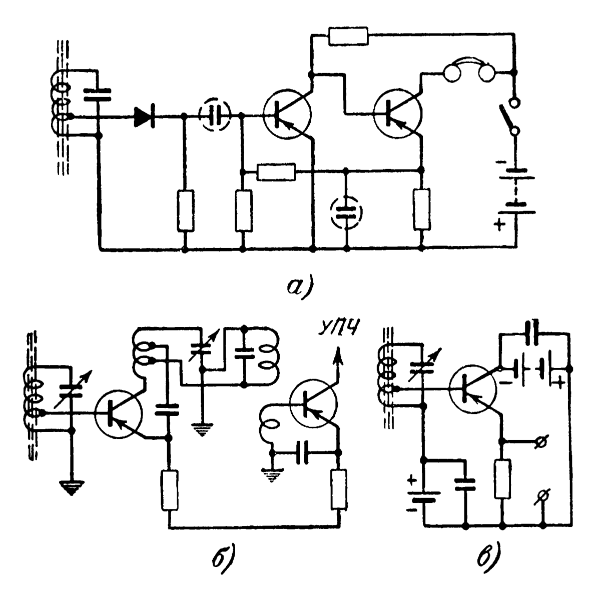


Рис. 18. Способы включения ферритовых антенн в приемниках на полупроводниках.

а — в детекторном приемнике; *б* — в супергетеродинном приемнике; *в* — с эмиттерным повторителем.

изображена схема детекторного приемника. В схеме супергетеродинного приемника с неполным включением антенны (рис. 18,*б*) в цепь основание — эмиттер рекомендуется включать лишь 9 витков из 60. При этом сопротивление включенной части входного контура уменьшится по сравнению с полным включением антенны в $\left(\frac{60}{9}\right)^2 = 40$ раз, а на-

пряжение, снимаемое с входного контура, уменьшится лишь в 6,66 раза.

Однако добротность входного контура, даже при слабой связи, падает. Поэтому иногда для повышения чувствительности такого приемника представляется целесообразным в ряде случаев применять в качестве первого каскада эмиттерный повторитель или схему с общим коллектором (рис. 18,*в*). Применение эмиттерного повторителя позволяет сохранить высокую избирательность входного контура и полностью реализовать высокое качество ферритовой антенны, так как входное сопротивление такого каскада равно $\beta R_н$ (величина β достигает у современных транзисторов 50 и даже 84), где $R_н$ — сопротивление нагрузки повторителя.

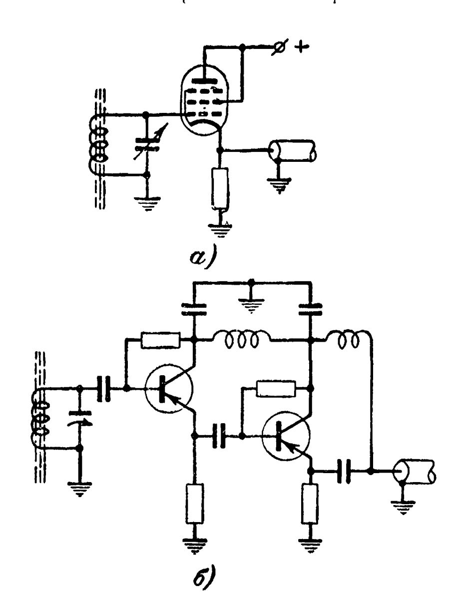


Рис. 19. Включение выносных ферритовых антенн (работа на кабель)·
а — ламповая схема; *б* — двухкаскадный эмиттерный повторитель.

Иногда возникает необходимость «вынести» ферритовую антенну за пределы приемника, соединив ее с приемником с помощью фидера. В этих случаях применение эмиттерного повторителя (двухкаскадного) или лампового катодного повторителя становится неизбежным. Схемы подобных устройств приводятся на рис. 19.

В транзисторах емкость *п-р*-перехода в большинстве случаев рассматривается как паразитная, ограничивающая частотный диапазон прибора. Между тем в ряде случаев наличие этой емкости или, точнее, изменение ее под действием приложенного к прибору напряжения может оказаться полезным. На рис. 20 приведена кривая зависимости емкости *п-р*-перехода от приложенного к диоду постоянного напряжения. Это свойство позволяет использо-

вать полупроводниковый прибор в качестве элемента настройки контура в компактных приемниках, где размеры воздушного конденсатора переменной емкости оказывают существенное влияние на габариты. В качестве элемента настройки можно использовать германиевые диоды типа ДГ-Ц24, ДГ-Ц27 (рис. 21). Настройка антенны подобным

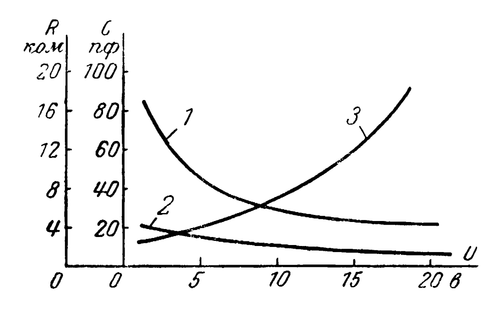


Рис. 20. Изменение емкости коллекторного перехода полупроводниковых приборов, используемых в качестве элемента настройки ферритовых антенн.

1 — емкость коллекторного перехода транзистора П6Б; *2* — то же для диода ДГ-Ц27; *3* — активное сопротивление перехода в диоде ДГ-Ц27.

Рис. 21. Использование емкости *n-p*-перехода ДГ-Ц27 для настройки ферритовой антенны.

способом может быть, в частности, осуществлена в УКВ диапазоне. Недостаток подобной схемы — влияние активного сопротивления перехода, шунтирующего входной контур, а также малое перекрытие диапазона.

6. КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ ПРИЕМНОЙ ФЕРРИТОВОЙ АНТЕННЫ

Исходными данными для расчета антенны являются параметры сердечника (его начальная проницаемость, размеры), электрические данные входной цепи, а также при расчете супергетеродина — параметры контура гетеродина. В понятие расчета входят определение числа витков и выбор конструкции антенной катушки, выбор месторасположения антенной катушки на сердечнике, определение схемы включения и расчет величины связи антенного контура с входом приемника и, наконец, определение действующей высоты и эффективности антенны

Иногда к антенне предъявляются дополнительные требования, такие, как повышенная избирательность входной цепи, получение «чистой» диаграммы направленности (с четким нулем приема), простота изготовления и настройки, максимальная эффективность антенны и т. д., которые заставляют вносить в типовой расчет изменения.

Число витков антенной катушки определяется в первую очередь величиной допустимой индуктивности входного контура. Зная частотный диапазон и конструктивные особенности самого приемника (схему сопряжения входного контура с другими контурами, емкость конденсатора настройки и других элементов входа), индуктивность катушки находят по формуле

$$L_{\text{к}} = \frac{2,53 \cdot 10^4}{f_{\text{макс}}^2 \cdot C_{\text{мин}}},$$

где $C_{\text{мин}}$ является суммой емкостей конденсатора настройки (минимальной), монтажа и т. д. По этой формуле индуктивность определяется в микрогенри, емкость подставляется в формулу в пикофарадах, а частота — в мегагерцах.

Прежде чем рассчитывать число витков, следует выбрать определенную конструкцию катушки. Выбор ее зависит от диапазона частот и назначения антенны. Наиболее проста односекционная антенная катушка со сплошной намоткой. В этом случае число витков удобно определять по методу, предложенному Б. И. Рязановым («Электросвязь», 1958, № 2). Согласно этому способу расчета

$$w = \sqrt{\frac{L_{\text{к}}}{L' D_{\text{к}} \mu_{\text{к}}}}.$$

Коэффициент L' — коэффициент формы катушки (аналогичный ранее упоминавшемуся коэффициенту Ф), зависит от отношения длины катушки к ее диаметру (рис. 22). Наиболее сложным является определение коэффициента $\mu_{\text{к}}$. Он вычисляется как произведение четырех эмпирических коэффициентов μ_e, m_L, p_L, q_L, т. е.

$$\mu_{\text{к}} = \mu_e m_L p_L q_L.$$

Коэффициент m_L определяется соотношением длины катушки и длины сердечника (рис. 23), а p_L зависит от расположения катушки на стержне (рис. 24), коэффици-

ент q_L представляет собой отношение квадратов диаметра сердечника к диаметру катушки и, наконец, μ_e — эф-

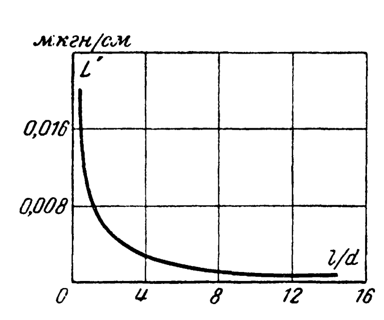


Рис. 22. Изменение коэффициента формы катушек L' при различных соотношениях размеров катушки.

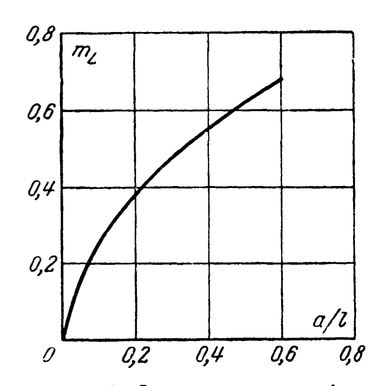


Рис. 23. Зависимость коэффициента m_L от отношения длин катушки и стержня a/l.

фективная проницаемость сердечника. Как видно из хода расчета, для определения коэффициентов m_L, p_L и L' необходимо задаться прежде всего длиной катушки, которая определяется произведением диаметра провода на число витков, определение которого составляет конечную цель расчета. Однако с этим кажущимся противоречием можно легко освоиться при наличии некоторого опыта в проведении таких расчетов. Для облегчения расчета в табл. 3 приведены типовые данные ферритовых антенн для диапазонов средних и длинных волн в приемниках с ламповым входом.

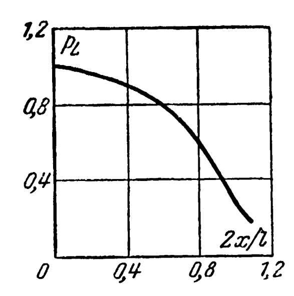


Рис. 24. Зависимость коэффициента p_L от места размещения катушки на стержне.

Таблица 3

Диаметр сердечника d, *мм*	Число витков w		Индуктивность, *мгн*	
	Средние волны	Длинные волны	Средние волны	Длинные волны
8	60—80	100—150	0,2—0,3	1—1,5
10	35—50	80—120	0,2—0,3	1—1,5
15	20—25	60—80	0,2—0,3	1—1,5

Если намотка катушки не сплошная, что позволяет несколько повысить действующую высоту антенны, то расчет числа витков усложняется из-за необходимости учитывать неполную связь между витками. Примером такого расчета может служить выбор оптимального расстояния между двумя секциями катушки длинноволновой антенны со следующими данными: $\mu_0=900$, $l=480$ *мм* и $d=20$ *мм*. Экспериментально было доказано, что коэффициент связи K

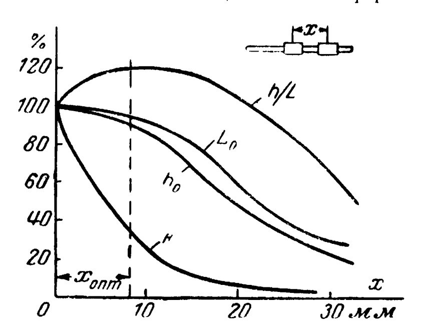


Рис. 25. К расчету наивыгоднейшего расположения секций (зависимость параметров антенн от расстояния между секциями x).

между двумя секциями зависит от расстояния между ними x так, как показано на рис. 25, и изменяется по экспоненциальному закону $K=e^{0,158x}$.

Пусть L_0 — индуктивность отдельного витка; h_0 — действующая высота отдельного витка; K — коэффициент связи между двумя симметрично расположенными обмотками; w — число витков в секции.

Тогда действующая высота антенны

$$h=h_{01}+h_{02}+\ldots=2\sum_{1}^{n}h_0,$$

а индуктивность антенной катушки

$$L=2w^2L_0(1+K_{ср}).$$

Отношение h/L покажет, насколько удачно выбрана величина связи между двумя секциями. Как видно из графиков на рис 25, оптимальным для рассматриваемого слу-

чая является расстояние $x=8$ *см*; при этом расстоянии выигрыш по действующей высоте достигает 20%.

При распределенной намотке и, в частности, при прогрессивной намотке (с увеличивающимся шагом) увеличение отношения h/L по сравнению с секционированной катушкой достигает 5—8%.

При конструктивном расчете ферритовой антенны сле-

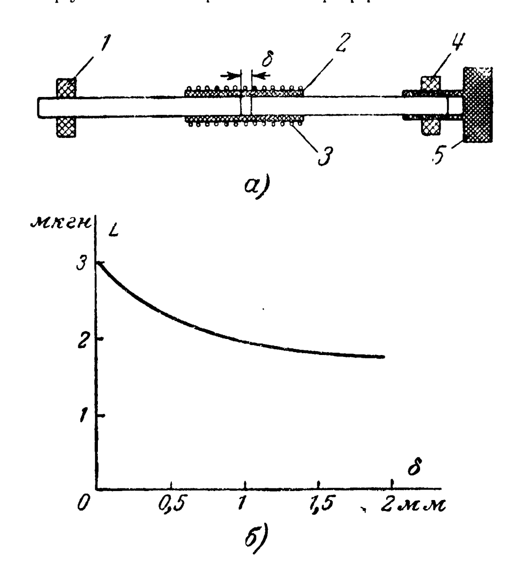


Рис. 26. Антенна с регулируемым воздушным зазором.

а — устройство антенны (*1* — держатель; *2* — каркас; *3* — обмотка; *4* — держатель с винтовым отверстием; *5* — фланец с ходовой нарезкой); *б* — график изменения индуктивности при изменении зазора δ

дует учесть возможности регулировки индуктивности антенной катушки после ее установки в приемнике.

Обычной регулировкой считается перемещение антенной катушки вдоль стержня, о которой говорилось выше (§ 3). Подобная регулировка позволяет изменять индуктивность на 20%. Другим методом регулировки индуктивности антенны или перестройки ее в некотором диапазоне частот является введение регулируемого зазора между двумя половинками сердечника (рис. 26,*а*). На рис. 26,*б* показана зависимость индуктивности антенной катушки от величины зазора δ между половинками сердечника, изго-

товленного из феррита Ф-20. Применяя ферриты с большей магнитной проницаемостью, можно добиться большего частотного перекрытия. Существует еще один способ регулировки индуктивности антенны, заключающийся в изменении расстояния между секциями антенной катушки (рис. 27). Подобная регулировка индуктивности вследствие весьма большого диапазона изменения индуктивности может быть использована как основной способ настройки ферритовой антенны, т. е. этот способ настройки позволяет обойтись без переменного конденсатора.

Установка ферритовой антенны должна осуществляться как можно ближе к входному каскаду для того, чтобы

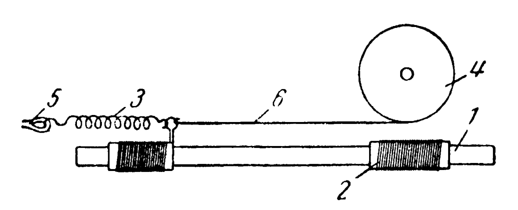


Рис. 27. Устройство для настройки антенны изменением расстояния между секциями.

1 — сердечник; 2 — секция обмотки; 3 — крутизна; 4 — шкив; 5 — точка крепления; 6 — нить.

уменьшить длину соединительных проводов — паразитную емкость. Вблизи от антенны не должно быть короткозамкнутых витков, ослабляющих поле. Держатели антенны должны быть снабжены мягкими прокладками, позволяющими предотвратить излишние механические напряжения. Во избежание увеличения собственной емкости антенна должна быть удалена от шасси на расстояние не менее 3 *см*. Ферритовая антенна должна быть максимально удалена от силового и выходного трансформаторов, а также электродинамического громкоговорителя.

7. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИЕМНЫХ ФЕРРИТОВЫХ АНТЕНН

Сравнительный расчет приемной ферритовой антенны показывает, что она обычно сравнима по эффективности с одно-двухметровым штырем. В ряде случаев подобная эффективность оказывается недостаточной.

Самым простым путем увеличения эффективности является увеличение геометрических размеров сердечника. Выигрыш обусловливается при этом тем, что индуктивность антенной катушки растет с увеличением диаметра сердечника пропорционально первой степени этого увеличения, в то время как действующая высота пропорциональна квадрату диаметра. Неудобством этого метода является увеличение размеров и веса сердечника, так как рост диаметра должен сопровождаться ростом длины с тем, чтобы эффективная проницаемость сердечника осталась неизменной. Иначе говоря, увеличение диаметра ведет к резкому увеличению объема и, следовательно, веса сердечника (удельный вес феррита около 5 *г/см*³).

Иногда встречается затруднение в выборе сердечника соответствующего диаметра. Выход из затруднения может быть найден в использовании набора цилиндрических стержней, связываемых для этих целей в пучок. При этом полезная площадь сечения такого сердечника, определяющая действующую высоту, увеличивается в $Z^{0,42}$ раз, где Z — число стержней в пучке, а индуктивность—в $Z^{0,38}$ раз, если соотношение l/d достаточно велико. На рис. 28 показана конструкция сердечника антенны, изготовленного из пучка цилиндрических стержней.

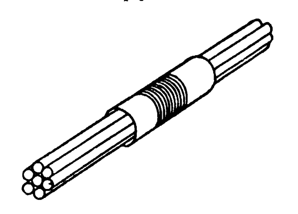


Рис. 28. Ферритовая антенна с сердечником в виде пучка стержней.

Другой метод увеличения действующей высоты ферритовой приемной антенны состоит в последовательном или параллельном соединении нескольких ферритовых антенн. Идея последовательного соединения нескольких антенн близка к идее секционирования антенной катушки. Действительно, разбивая антенную катушку на две части, размещая эти части на двух стержнях и соединяя их последовательно, мы уменьшаем индуктивность антенны почти в 2 раза, так как связь между антеннами уже при разносе на 2—3 *см* друг от друга ничтожно мала. Это позволяет увеличить общее число витков в обеих катушках в $\sqrt{2}$ раз при сплошной намотке. Если такое расчленение антенной катушки произвести на трех стержнях, число витков можно увеличить в $\sqrt{3}$ раз, на четырех—в 2 раза и т. д. Следует, однако, отметить, что увеличению числа стержней сопутствует

увеличение связи между ними и поэтому индуктивность антенной катушки, намотанной на n стержнях, уменьшается меньше, чем в n раз, так как индуктивность каждой из частей будет равна:

$$\frac{L_{\text{общ}}}{n}(1+K_1+K_2+K_3+\ldots+K_{n-1}).$$

При последовательном соединении отдельных антенн стержни должны быть параллельны, а отдельные катушки антенны не должны быть включены навстречу друг другу, что достигается одинаковой намоткой катушек и соответствующим соединением концов обмоток (рис. 29). Параллельное соединение отдельных антенных катушек приводит к таким же положительным результатам. При отсутствии или малой связи между двумя антенными катушками, включенными параллельно, индуктивность такой антенны уменьшается вдвое, что также может быть компенсировано увеличением числа витков в $\sqrt{2}$ раз. Аналогично, как и при последовательном включении, при большем числе стержней появляется возможность большего увеличения числа витков, а следовательно, увеличения эффективности антенны. Препятствием к увеличению числа стержней здесь, помимо указанных выше факторов, следует считать быстрое увеличение собственной емкости ферритовой антенны. На рис. 30 представлена фотография ферритовой антенны УКВ диапазона с параллельным включением антенных катушек.

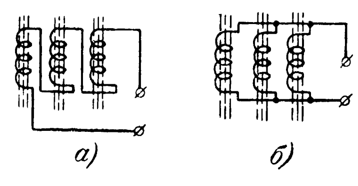


Рис. 29. Схема включения одиночных антенн.
а — последовательное включение; б — параллельное включение.

Помимо этих методов увеличения эффективности, существуют и другие. Суть их может быть упрощенно объяснена исходя из магнитостатических представлений, а именно, исходя из свойств ферромагнетиков «притягивать», «собирать» и «направлять» магнитные силовые линии. Возможность управления магнитными потоками как внешним потоком, создаваемым электромагнитным полем, так и внутренним, создаваемым антенной катушкой, является характерным и многообещающим свойством ферритовых антенн.

С этими свойствами ферритовых антенн мы уже сталкивались выше. Так, например, в антенне с Z-образным сердечником сложная ломаная конфигурация сердечника не изменяет свойств антенны. Подобные же закономерности наблюдаются и в ферритовых антеннах, работающих в качестве антенн полукомпасов на самолетах. Антенна

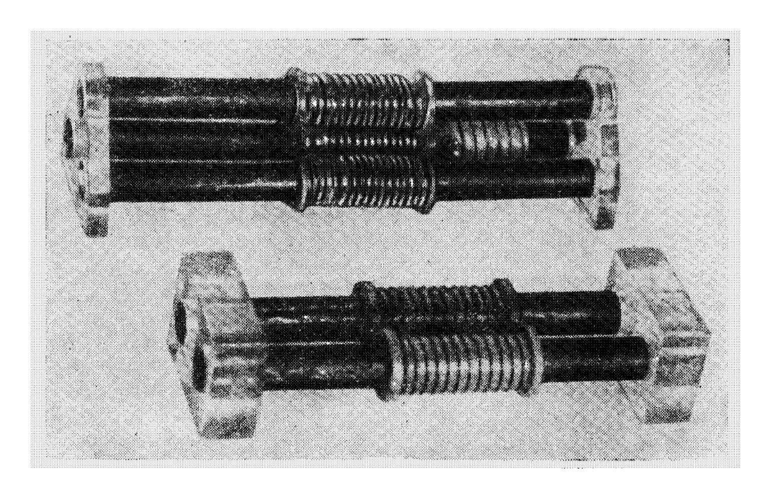


Рис. 30. Внешний вид ферритовых УКВ антенн.

в этом случае размещается в углублениях корпуса (обычно металлического), что тем не менее не уменьшает ее приемных свойств.

Разбирая методы повышения эффективности ферритовых антенн, следует исходить из упоминавшегося ранее положения, что эффективность ферритовой антенны прямо пропорциональна взаимодействию (взаимосвязи) двух магнитных потоков — потока, создаваемого внешним полем, и потока, создаваемого антенной катушкой. Справедливость этого может быть иллюстрирована с помощью разобранных выше методов повышения эффективности. Так, при увеличении диаметра стержня магнитный поток внешнего поля увеличивается пропорционально квадрату диаметра, в то время как поток антенной катушки увеличивается в меньшей степени (уменьшается количество витков при постоянной индуктивности). Наоборот, при параллельном соединении ферритовых антенн мы получаем возможность увеличить число витков на стержне, т. е. уве-

личить магнитный поток антенной катушки при неизменном потоке внешнего поля. В итоге обоих различных по природе мероприятий наблюдается увеличение приемного эффекта.

Создавая ферритовую антенну, конструктор должен, всемерно увеличивая магнитный поток внешнего поля

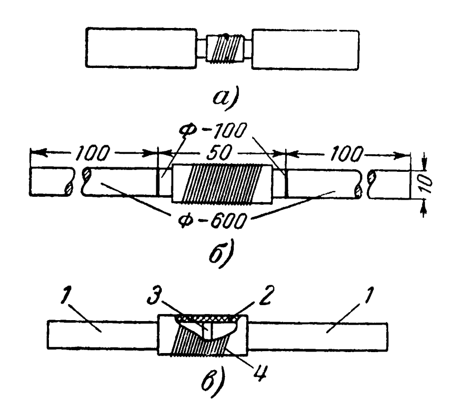


Рис. 31. Ферритовые антенны с переменным сечением и переменной проницаемостью.

а — антенна с переменным сечением; *б* — коротковолновая антенна с составным сердечником; *в* — УКВ антенна с прокладкой (*1* — сердечник, *2* — каркас, *3* — полистироловая прокладка, *4* — обмотка).

в стержне и в минимальной степени поток антенной катушки (чтобы не увеличивалась индуктивность ее), добиться увеличения приемного эффекта антенны.

Увеличение магнитного потока в ее сердечнике от внешнего поля может быть достигнуто путем выбора соответствующей конфигурации его или подбором соответствующих материалов сердечника.

В качестве примера рассмотрим ферритовую антенну, сердечник которой имеет переменное сечение в виде приведенного на рис. 31. Измерения, проведенные с ферритами, имеющими малую магнитную проницаемость, показывают, что если на расстоянии трети от концов сердечника его диаметр увеличить вдвое, оставив диаметр срединной

части неизменным, то действующая высота антенны вырастет в 2,5—3 раза, а индуктивность антенной катушки при этом — всего лишь на 20—30%. Указанные соотношения размеров фигурного сердечника приведены лишь в качестве примера и, вероятно, неполностью характеризуют максимальный выигрыш, который может быть получен с помощью предлагаемого метода.

Другим путем увеличения магнитного потока является применение сердечника, состоящего из частей, обладающих разными магнитными свойствами (рис. 31,*б*). В частности, для концентрации магнитного потока внешнего поля бо́льшая часть сердечника выполняется из материала с повышенной магнитной проницаемостью, в то время как несущая антенную катушку часть сердечника, материал которой определяет добротность антенны, может быть выполнена из феррита меньшей проницаемости, но и с меньшими потерями.

Некоторой модификацией этого метода является введение в сердечник немагнитного зазора. В этой конструкции сердечник антенны состоит из двух половинок, скрепленных с помощью прокладки (шайбы) из полистирола и приклеиваемой к сердечнику эпоксидной смолой (рис. 31,*в*). Введение такой прокладки увеличивает в 1,5 раза добротность антенной катушки при увеличении числа витков ее на 20%. Толщина прокладки берется порядка 1—1,5 *мм*.

Возможны, конечно, и комбинации обоих методов: сердечники с фигурным профилем могут собираться из различных частей, состоящих из отличающихся по свойствам магнитных материалов. Соединению их должна предшествовать тщательная шлифовка сочленяющихся поверхностей. Следует учесть, что неплотное прилегание поверхностей феррита уменьшает его магнитную проницаемость. Учет этого уменьшения может быть произведен по формуле

$$\mu_з = \frac{\mu_e}{r(\mu_e - 1) + 1},$$

где $\mu_з$ — эффективная проницаемость сердечника с зазором;

r — отношение длины воздушной прослойки к общей длине сердечника.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФЕРРИТОВЫХ АНТЕНН

8. ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

В процессе конструирования ферритовой антенны часто возникает необходимость проверки параметров антенны — индуктивности антенной катушки, добротности, действующей высоты.

Необходимость эта вызвана не только несовершенством методов расчета, но и непостоянством характеристик феррита, обусловленного сложной технологией его изготовления, естественным старением или воздействием факторов, изменяющих свойства феррита, о которых говорилось выше. Достаточно сказать, что разброс по магнитной проницаемости ферритовых сердечников одной и той же марки и даты выпуска достигает 20%.

Особенно необходимы измерения при экспериментальной работе, преследующей в качестве цели увеличение эффективности антенны, когда результаты эксперимента показывают, насколько полезно то или иное изменение конструкции антенны.

Наиболее употребительными измерительными приборами при конструировании ферритовой антенны являются измерители добротности или Q-метры. Нашей промышленностью выпускаются как коротковолновые (типа КВ-1), так и ультракоротковолновые (типа УК-1) Q-метры. Оба эти прибора позволяют определять индуктивность и добротность антенной катушки, а также проводить некоторые дополнительные измерения, в частности, определять собственную емкость антенной катушки или находить собственную частоту антенного контура. Собственная емкость ферритовой антенны определяется таким же способом, как и собственная емкость обычных катушек. Для определения собственной частоты антенного контура (что необходимо, в частности, при изготовлении ферритовой телевизионной антенны) к зажимам «индуктивность» ультракоротковолнового Q-метра типа УК-1 подключается небольшой виток диаметром 4—5 *см* и с помощью конденсатора Q-метр настраивается на частоту, близкую к измеряемой. Затем к витку подносится измеряемая ферритовая антенна (точнее антенный контур) на расстояние 3—4 *см*. Если при этом частота настройки на Q-метре изменяется, то собст-

венная частота антенного контура не совпадает с частотой Q-метра. При совпадении частот настройка контура Q-метра остается неизменной (несколько падает при этом значение Q контура).

С помощью Q-метра можно также выяснить ориентировочно марку неизвестного ферритового стержня. Для этой цели требуется определить частотную границу его, т. е. ту частоту настройки, за которой следует ухудшение Q до величины, равной примерно 10. По этой частоте, пользуясь табл. 1, можно узнать затем марку неизвестного феррита. При подобных измерениях необходимо помнить, что добротность антенной катушки зависит от числа витков и, следовательно, антенная катушка должна иметь число витков, соответствующее данному частотному диапазону (см. табл. 3). Более точно магнитная проницаемость исследуемого стержня может быть определена, если воспользоваться методикой, изложенной в предыдущей главе, т. е., определив индуктивность и зная число витков и размеры катушки, найти последовательно сначала $\mu_к$, а затем μ_0.

С помощью Q-метра можно также определить величину связи между параллельными или последовательными антеннами, пользуясь методикой, применяемой при определении взаимоиндуктивности между обычными катушками.

Иногда при изготовлении ферритовых антенн, особенно в УКВ диапазоне, следует проверить, насколько далеко рабочая частота сконструированной антенны находится от частоты собственного резонанса. Приближение частоты к резонансной можно легко обнаружить с помощью Q-метра, определив индуктивность антенны на нескольких частотах. Если индуктивность исследуемой антенны начинает быстро увеличиваться при увеличении частоты, то значит, что частота антенны приближается к резонансной и число витков следует уменьшить. Измерение индуктивности антенной катушки можно вести и на обычных мостовых приборах. Однако при этом надо иметь в виду, что большинство измерителей индуктивности работает на относительно низких частотах и по их показаниям трудно судить о потерях в измеряемой антенне.

9. ИЗМЕРЕНИЯ В СТАНДАРТНОМ ПОЛЕ

Описанные выше измерения не дают прямого ответа на вопрос, насколько эффективна сконструированная антенна.

Такой ответ может быть получен при условии, что известны напряженность поля в месте приема и напряжение на выходе антенны или на выходе приемника, усиление которого известно. Знание этих величин позволяет более или менее точно определить действующую высоту антенны расчетным путем.

Измерения напряженности поля требуют довольно сложной аппаратуры и, кроме того, не всегда возможны из-за помех.

Между тем возможно создать искусственным образом условия для быстрого и прямого измерения действующей высоты ферритовой антенны. Такую возможность дает макет стандартного поля (поля Гельмгольца), в котором с помощью простых измерительных приборов (например, теплового миллиамперметра) можно измерить уровень поля. Получаемое в макете поле однородно и, кроме того, напряженность его может быть достаточно большой, позволяющей измерять действующую высоту антенны с помощью обычного микроамперметра.

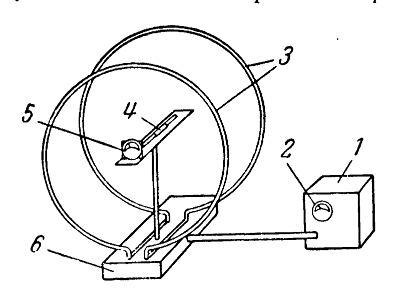


Рис. 32. Общий вид макета стандартного поля для измерения ферритовых антенн.
1 — генератор; *2* — миллиамперметр; *3* — витки; *4* — ферритовая антенна; *5* — индикатор; *6* — подставка.

Общий вид макета стандартного поля приводится на рис. 32. Источниками поля служит рамочная антенна в виде двух параллельно расположенных витков, подсоединенных к высокочастотному генератору с симметричным выходом.

Напряженность электрического поля связана с током в витках зависимостью

$$E = 86\pi \frac{1}{R} I,$$

где I — суммарный ток, питающий оба витка, *а*;
R — радиус витка, *м*.

В этой формуле напряженность электрического поля выражается в *в/м*. При радиусе витков, равном 27,5 *см*, и токе, равном 1,02 *ма*, напряженность поля составляет 1 *в/м*. Расстояние между витками следует брать равным 25—30 *см*

в целях получения наибольшей однородности поля. Витки могут быть выполнены из латунной трубки.

Более удобной с конструктивной точки зрения является схема прибора, в которой источником поля служит апериодическая экранированная рамка. Экранирование рамки позволяет питать ее от несимметричного генератора, не опасаясь влияния оператора и близлежащих предметов на результаты измерений. Применение апериодической рамки позволяет контролировать нагрузку на генератор и удобно при производстве измерений, поскольку в этом случае

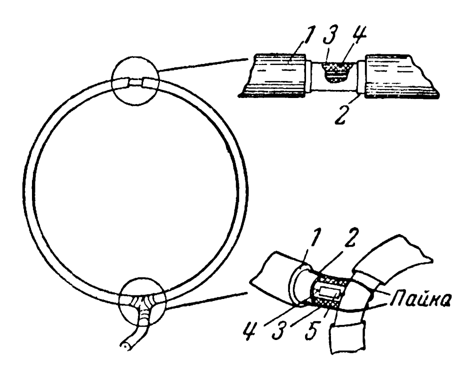


Рис. 33. Экранированная рамка из радиочастотного кабеля для макета стандартного поля.

1 — защитное покрытие; 2 — броневая оплетка; 3 — изолятор; 4 — жила кабеля; 5 — сопротивление.

возрастает ток, питающий рамку. Экранированную апериодическую рамку удобно изготовить из радиочастотного кабеля (рис. 33). Для этого берется кусок кабеля типа РК-1, несколько превышающий периметр l рамки ($l=2\pi R$), и один из его концов на 3—4 *см* от края очищается от защитного покрытия. Затем броневая оплетка кабеля, состоящая из медных жил, расплетается на два пучка, а внутренний провод очищается от изоляции и облуживается. На расстоянии, равном периметру рамки, броневая оплетка вновь очищается от покрытия и залуживается. После этого к внутреннему проводу очищенного конца кабеля припаивается малогабаритное сопротивление, равное 75 *ом*, причем другой конец сопротивления припаивается к обнаженному и залуженному участку кабеля. Сюда же, охватывая припаянное сопротивление и броневую оплетку, припаи-

ваются оба пучка расплетенной броневой оплетки конца кабеля. Место соединения обматывается изоляционной лентой.

Далее на середине кабеля, спаянного вышеописанным способом в рамку, производится удаление покрытия и броневой оплетки на расстоянии 1 *см*. Обе изготовленные таким образом рамки соединяются параллельно и располагаются на расстоянии, равном радиусу рамки. Для жесткости витки экранированной рамки должны быть закреплены на жестких основаниях (гетинаксовых или фанерных). Радиус их следует выбирать в зависимости от рабочего диапазона. В диапазоне средних и длинных волн его удоб-

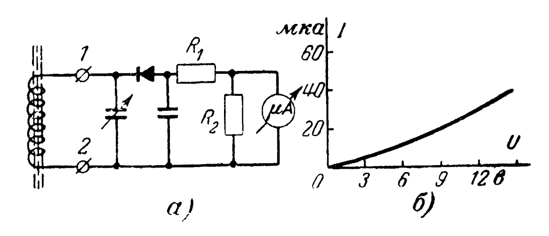


Рис. 34. Схема индикатора для определения действующей высоты ферритовой антенны (*а*) и типовая характеристика индикатора (*б*).

но выбрать равным 27,5 *см*, в УКВ диапазоне — не более 20 *см*.

Мощность передатчика, необходимая для создания поля напряженностью порядка 1 *в/м*, может не превышать 0,1—0,2 *вт*. Генератор высокочастотных колебаний может быть выполнен в виде двухкаскадного маломощного передатчика.

Эффективность ферритовой антенны может быть измерена при наличии сильного поля простым индикатором, состоящим из обычного кристаллического детектора и микроамперметра постоянного тока. Схема такого индикатора представлена на рис. 34. Ферритовая антенна, помещенная в стандартное поле, может настраиваться с помощью подстроечного конденсатора. Величина нагрузки детектора (величина сопротивления R_1) подбирается равной или несколько превосходящей входное сопротивление лампы или другого элемента входа. При этом R_1 значительно больше R_2 по своей величине, а сопротивление R_2 меньше сопротивления микроамперметра.

Для удобства измерений микроамперметр монтируется на одном из оснований, к которому прикрепляются витки (рамки).

10. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ВЫСОТЫ И ЭФФЕКТИВНОСТИ АНТЕННЫ

Прежде чем приступить к непосредственным измерениям, следует убедиться (измерив ток, питающий рамку, и рассчитав напряженность поля), что величина поля достаточна для проведения измерений. Если производится непосредственное измерение действующей высоты (без настройки антенны), величина напряженности поля должна быть не ниже 20 *в/м*. При таких измерениях нагрузкой детектора служит непосредственно сопротивление микроамперметра типа М-494 или М-24. Чтобы облегчить работу, перед измерениями необходимо вычертить детекторную характеристику индикатора. Для этого на выход антенны (зажимы *1* и *2* на рис. 34) подсоединяется достаточно чувствительный ламповый вольтметр типа ВЛУ или ВКС-7 и определяется зависимость тока микроамперметра от напряжения, развиваемого антенной. После этого приступают к непосредственным измерениям действующей высоты. Антенна располагается в середине между рамками на подставке из изолирующего материала (органическое стекло, гетинакс) так, чтобы ось стержня совпадала с осью, проходящей через центры рамок.

Для настройки ферритовой антенны на различные частоты используется воздушный конденсатор (ротор его должен легко вращаться), емкость которого должна изменяться в тех же пределах, что и емкость конденсатора, используемого в приемнике. В этом случае сопротивление нагрузки выбирается порядка 100—150 *ком*, а микроамперметр подсоединяется к части нагрузки, сопротивление которой в 3—4 раза меньше сопротивления микроамперметра.

На рис. 34,*б* показана типовая характеристика индикатора для измерений в УКВ диапазоне. Диод здесь типа Д-2Г, сопротивление нагрузки $R_1=130$ *ком*, емкость блокировочного конденсатора равна 68 *пф*, сопротивление $R_2=200$ *ом*. Детекторная характеристика должна сниматься при настроенном антенном контуре.

Приводим несколько советов, полезных при производстве измерений на стенде. При настраивающейся антенне весьма важна точная настройка в резонанс. Для этого

грубую настройку следует осуществлять с помощью конденсатора, а точную—изменением частоты генератора, добиваясь максимального отклонения стрелки микроамперметра.

В пространстве между рамками не должно быть металлических деталей, способных исказить поле. Оператор при измерениях должен находиться на расстоянии не меньше полуметра от стенда. В поле зрения его должны быть оба прибора — миллиамперметр, измеряющий ток рамки, и микроамперметр индикатора. Уровень поля следует поддерживать по возможности постоянным.

Помимо прямых измерений действующей высоты и эффективности ферритовых антенн, на стенде можно производить и измерение добротности антенного контура в сборе (иногда вместе с электронным прибором—лампой или транзистором). Для этого определяется после точной настройки полоса пропускания контура, которая находится как разность между частотами генератора, при которых напряжение на контуре падает до уровня, равного 0,7 от максимального. После этого добротность контура определяется по следующей формуле:

$$Q = \frac{f_0}{2\Delta f},$$

где f_0 — частота точной настройки антенны, *кгц*;

$2\Delta f$ — полоса пропускания контура, *кгц*.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ФЕРРИТОВЫЕ АНТЕННЫ УКВ ДИАПАЗОНА И ЭЛЕМЕНТЫ АНТЕННЫХ ЦЕПЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФЕРРИТОВ

11. КОМНАТНАЯ ТЕЛЕВИЗИОННАЯ ФЕРРИТОВАЯ АНТЕННА

Телевидение не только прочно вошло в современный быт, но и нашло широкое применение в науке и технике сегодняшнего дня. Телевидение позволяет следить за производственным или иным процессом, непосредственное наблюдение которого затруднено вследствие опасности или неудобства. В настоящее время телевидение широко применяется в промышленности и на транспорте: для наблюдения за формированием составов, на взрывоопасных производствах, в металлургии, медицине. В большинстве уста-

новок промышленного телевидения сигнал передается на небольшие расстояния, поэтому приемное устройство, в том числе и антенна его, должно быть весьма компактным.

Встроенная антенна полезна и в обычных телевизорах. Говоря о внедрении комнатных телевизионных антенн, полезно провести аналогию из истории приемных антенн широковещательных радиоприемников. На ранней стадии развития приемников при малой чувствительности их и при небольших мощностях передающих радиостанций радиоприемные антенны выносились на крыши зданий, поднимались на шесты, деревья и т. д. Позднее перешли к комнатным антеннам в виде куска провода, протягиваемого по стенам комнат, и, наконец, в последней стадии—современной — приемники выпускаются со встроенными в них ферритовыми антеннами.

Проводя аналогию, можно сказать, что телевизионные комнатные антенны находятся на второй стадии своего развития. Применяемые в настоящее время комнатные телевизионные антенны представляют собой диполи или «усы» из провода (штырей), связываемые с приемником с помощью фидера. Такие антенны в силу особенностей распространения ультракоротких волн даже в условиях достаточной напряженности поля внутри помещения не всегда обеспечивают высококачественный прием передач. Дело в том, что поле в этом случае имеет интерференционный характер, т. е., являясь результатом сложения прямой и отраженных волн, неравномерно по амплитуде и по фазе, что не позволяет полностью использовать действующую длину антенны. Кроме того, поскольку при комнатной антенне симметрирование ее применяется редко, антенна практически несимметрична и вследствие этого подвержена воздействию помех, а также волн вертикальной поляризации. Практически такая антенна не обладает направленностью.

Использование ферритовой антенны помогло бы устранить большинство недостатков обычных комнатных антенн. Действительно, будучи неизмеримо более компактной, ферритовая антенна не портит вида комнаты, она может быть вмонтирована непосредственно в телевизор, ориентировать ее при приеме горизонтально поляризованных волн не надо, она является в высшей степени симметричной и т. д.

Основным, однако, при решении вопроса о целесообразности внедрения такой антенны является получение достаточной эффективности ее, сравнимой с эффективностью

горизонтального диполя. При определении эффективности ферритовой телевизионной антенны следует учитывать, что для высококачественного воспроизведения изображения полоса пропускания ее должна составлять 5—6 *Мгц*. Ширина полосы пропускания и добротность входного контура связаны между собой обратно пропорциональной зависимостью, и, следовательно, чем шире требующаяся полоса частот, тем ниже добротность и в конечном итоге эффективность антенны.

Расширение полосы может быть достигнуто за счет шунтирования входного контура активным сопротивлением в 3—4 *ком* (для 1-го канала) или 5—6 *ком* (для 3-го кана-

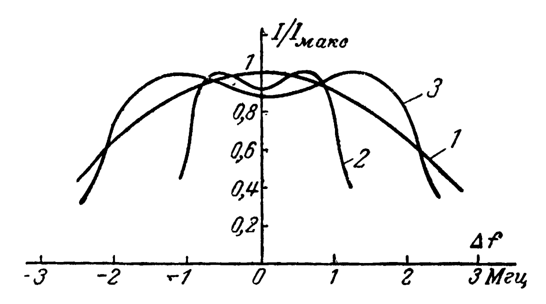


Рис. 35. Частотные характеристики.
1 — одиночного контура; *2* — связанных контуров при $Q = 50$; *3* — связанных контуров при $Q = 25$.

ла). Добротность контура при этом не превышает 10—12. Входное сопротивление высокочастотных усилительных ламп типа 6Н3П, 6Ж4, применяемых в современных телевизорах, имеет величину, сравнимую с величиной шунтирующего сопротивления, и поэтому антенна может подключаться непосредственно к входной лампе. Недостатком в этом случае является пологая частотная характеристика входного контура и малая эффективность антенны в целом (рис. 35).

Лучшие результаты получаются в случае применения связанных антенн. Расчет показывает, что при наличии сильной связи между двумя одиночными контурами можно получить ширину полосы пропускания около 4 *Мгц*, если добротность контуров составляет 25. Применение связанных контуров дает выигрыш по напряжению больше чем в 2 раза по сравнению с простым шунтированием. Кроме того, поскольку оба контура являются активными, т. е.

э. д. с. от внешнего поля наводятся в каждом из них независимо, выигрыш увеличивается в еще большее число раз. Ограничение полосы пропускания антенны шириной 4 *Мгц* при относительно крутых скатах резонансной характеристики оказывает положительное влияние на помехоустойчивость телевизионного изображения.

Второй трудностью, возникающей при конструировании ферритовой телевизионной антенны, является необходимость перестройки антенны с одного канала на другой. При небольшом числе каналов (два-три) перестройка антенны

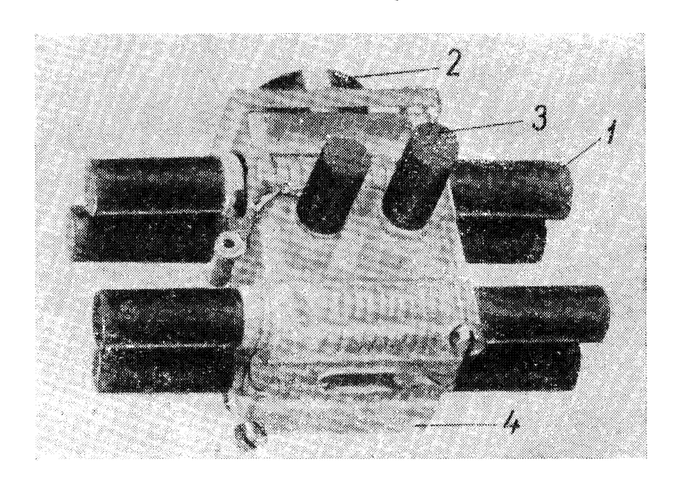


Рис. 36. Внешний вид комнатной ферритовой телевизионной антенны на две программы.

1 — антенна первой программы; 2 — барабан переключателя; 3 — антенна второй программы; 4 —держатель.

может осуществляться подключением отдельных антенн и переключением их при необходимости. Это оказывается значительно выгоднее, чем переключение витков, применяемое в радиоприемниках.

На рис. 36 показан внешний вид двухпрограммной ферритовой комнатной телевизионной антенны. Электрическая схема ее приведена на рис. 37. Конструктивно антенна представляет собой комбинацию двух отдельных антенн (1-го и 3-го каналов), выводы которых можно подключать либо к ламелям переключателя, либо к двум катодным повторителям. Переключение катодных повторителей производится выключением питания.

Антенна 1-го канала состоит из двух пар параллельно расположенных ферритовых антенн, индуктивно связанных между собой. Каждая пара антенны с помощью Q-метра настраивается подстроечным конденсатором C_1 (C_2) на частоту 52,5 *Мгц*. Коэффициент взаимоиндукции M между парами антенн подбирается экспериментально изменением расстояния между стержнями, которое обычно не превышает 4 *см*.

Антенна для 3-го канала выполнена по более простой схеме и образует одиночный контур. Это объясняется в первую очередь более высокой частотой настройки (f=76 *Мгц*) и, во-вторых, рядом конструктивных соображений.

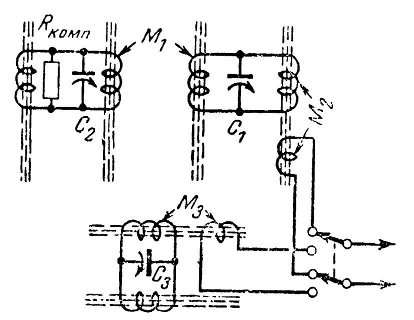


Рис. 37. Электрическая схема ферритовой телевизионной антенны, показанной на рис. 36.

Для антенны 1-го канала применяются ферритовые стержни с проницаемостью $\mu_0=20$ (марки Ф-20). Размеры стержня могут быть разными, в частности в нашем варианте стержни имели длину 100 и диаметр 10 *мм* для обеих антенн. Стержнями для антенны 3-го канала могут служить ферритовые стержни с проницаемостью 15. В описываемой антенне стержни антенны 3-го канала изготовлены из двух половинок ферритового стержня Ф-20, скрепленных полистироловой прокладкой (рис. 31,*в*). Сердечник с зазором 1,5 *мм* позволяет получить добротность спаренной антенны порядка 40 при $f_0=73$ *мгц*.

Антенные катушки антенны 1-го канала намотаны на цилиндрическом каркасе из органического стекла длиной 40 *мм* и имеют внутренний диаметр 10 *мм* и внешний 13 *мм*. Катушки содержат по 14—15 витков провода ПЭЛ 0,15—0,3 и намотаны прогрессивным шагом, т. е. шагом, равномерно увеличивающимся от средней части катушки (шаг 1 *мм*) к концам ее (шаг 5 *мм*). Витки укладываются в бороздах глубиной до 0,5 *мм*, выпиленных на каркасе катушки трехгранным напильником. Концы провода закрепляются на краях каркаса суровой ниткой.

Антенные катушки антенны 3-го канала изготовляются аналогично, однако число витков катушки уменьшается до

8—10. Отдельные элементы держателя стягиваются четырьмя винтами, располагаемыми в углах и проходящими через все четыре пластины держателя.

Конденсаторы подстройки антенных контуров могут быть укреплены на внутренних пластинах держателя, при этом во внешних пластинах должны быть просверлены сквозные отверстия, позволяющие подстраивать контуры. Емкость подстроечных конденсаторов (2—7 *пф*) может быть при необходимости уменьшена, для чего последовательно с подстроечным конденсатором включаются конденсаторы постоянной емкости.

Наиболее сложным при конструировании телевизионной ферритовой антенны является выбор схемы включения ее. В простой антенне, показанной на рис. 37, связь антенн с входными лампами осуществляется с помощью витков связи, концы которых выведены на барабан переключения каналов. Витки связи наматываются непосредственно на один из стержней антенны в количестве пяти-шести для 1-го канала и трех-четырех — для 3-го.

Недостатком подобной схемы является необходимость переделки входа телевизионного приемника, так как витки связи должны подключаться непосредственно к сетке входной лампы. Антенна при этом должна быть размещена в непосредственной близости от входной лампы, т. е. внутри телевизора. Подсоединение к одному из связанных антенных контуров емкости и сопротивления соединительных проводов и входа лампы изменяет его параметры. Поэтому во втором контуре, не связанном с лампой, необходимо предусмотреть компенсирующие элементы в виде добавочного сопротивления $R_{комп}$ и емкости *C*, величина которых подбирается.

Более удобной в эксплуатации, но более сложной в изготовлении является антенна с повторителями или антенными усилителями. Ее достоинство — возможность подсоединения с помощью коаксиального кабеля к стандартному несимметричному входу телевизора. Недостаток в ламповом варианте—необходимость подачи питания на катодные повторители. Схемы таких антенн, собранных на экономичных лампах типа 1Ж17Б, представлены на рис. 38. Для простоты антенна каждого канала показана на рисунке условно без специфических особенностей. Переключение каналов здесь осуществляется переключением напряжения накала ламп. Как видно из рис. 38,*б*, антенна включена здесь по симметричной схеме, что обеспечивает ряд преиму-

ществ в смысле повышения эффективности антенны и улучшает диаграмму направленности ее. Трансформатор, применяемый в схеме рис. 38,*а*, описывается ниже (см. § 15). Источники питания катодных повторителей ($U_н$ = 1,2 *в*, $U_а$ = 40 *в*) могут быть размещены как в телевизоре, так и прямо под антенной.

Как известно, большинство наших телецентров излучает горизонтально поляризованные волны, и для приема таких волн ферритовые антенны должны устанавливаться вертикально. Внутри помещения электромагнитное поле имеет как вертикальную, так и горизонтальную поляризацию, и

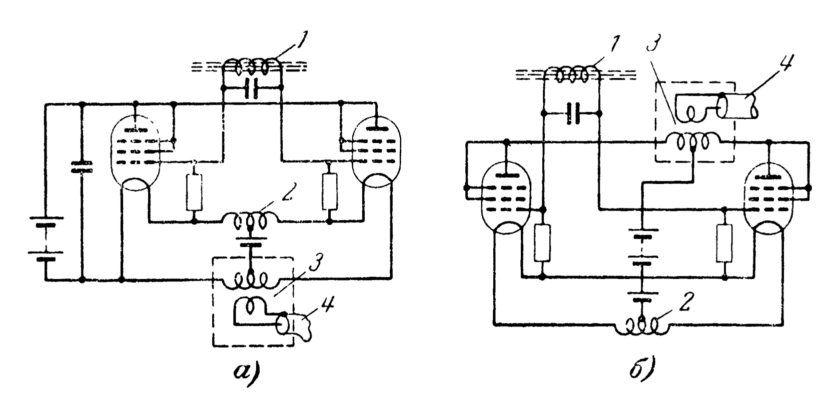


Рис. 38. Схемы телевизионных антенн.

а — с катодными повторителями; *б* — с антенным усилителем.
1 — антенна; *2* — „запирающий" дроссель; *3* — трансформатор; *4* — фидер.

поэтому выбор соответствующей позиции ферритовой антенны должен производиться экспериментально — по качеству изображения. Следует иметь в виду, что диаграмма ферритовой антенны при приеме горизонтально поляризованных волн — круговая, т. е. антенна всенаправленна.

Компактная ферритовая антенна, в которой используются повторители, может быть очень удобно установлена в комнате. В частности, она может быть размещена в оконном проеме, где напряженность поля значительно выше, чем внутри комнаты.

Экспериментальная проверка показывает, что даже простейшая ферритовая антенна (без катодных повторителей) обеспечивает удовлетворительный прием передач как в самой Москве, так и на расстоянии до 20 *км* от нее.

12. АНТЕННА ПРИЕМНИКА ДЛЯ «ОХОТЫ НА ЛИС»

Соревнования, известные под названием «охота на лис», завоевывает все бо́льшую популярность среди радиолюбителей. Идея соревнований состоит в том, чтобы в течение кратчайшего времени с помощью радиоприемника направленного действия найти замаскированный передатчик.

В этих соревнованиях удачно сочетаются спортивные элементы (выносливость, умение быстро ориентироваться и передвигаться по закрытой местности) с умением изготовить малогабаритный экономичный приемник с хорошей направленной антенной. В конструкции такой антенны

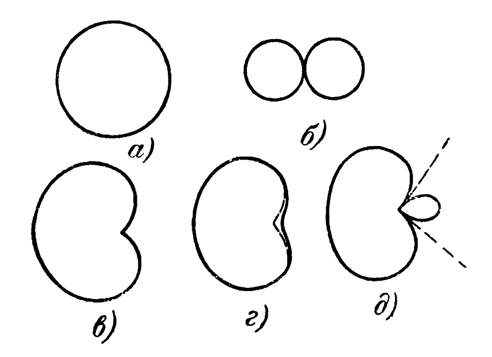


Рис. 39. Диаграммы направленности.
а — ненаправленной антенны; *б* — рамки; *в* — кардиода; *г* — „замытая" диаграмма; *д* — диаграмма с двумя минимумами.

обычно объединяются простейшая направленная антенна (рамка) с ненаправленной антенной (вертикальным штырем). Однако и в этом случае для получения высокой чувствительности необходимые размеры антенн получаются во много раз больше размеров приемника. Гораздо лучшие результаты дает применение ферритовой антенны. При этом оказывается легко получить и однонаправленность антенны без каких-либо добавочных конструктивных устройств.

Рассмотрим более подробно, как получается однонаправленная диаграмма в случае использования комбинированной антенны (рамки и штыря). Поскольку диаграмма направленности рамки — «восьмерка» (рис. 39,*б*), то однонаправленная диаграмма (кардиоида) (рис. 39,*в*) может быть получена при сложении обоих сигналов — от рамки и от штыря (рис. 39,*а*) лишь тогда, когда э. д. с. их равны и

фазы совпадают. Последнее должно быть создано искусственным путем, так как обычно они различаются на фазе на угол $\pi/2$. Равенства амплитуд добиваются изменением действующей высоты штыря, а искусственного сдвига фазы — выбором вида связи обеих антенн (связь обычно берется индуктивной). Недостатком описанной антенны является узкий рабочий диапазон: степень связи или амплитуды сигналов надо регулировать на каждой из рабочих частот. В противном случае диаграмма получается «замытой» — отсутствует нулевой прием (рис. 39,*г*) или образуются два минимума (рис. 39,*д*).

Применение ферритовой антенны, расположенной достаточно близко от оператора, позволяет «использовать» корпус оператора как переизлучатель («штырь»). При этом связь между двумя антеннами — ферритовой и ненаправленной (телом оператора) — легко регулируется выбором соответствующего расстояния между ними. Наилучшая однонаправленность такой антенны получается в диапазоне метровых волн (10—8 *м*).

Ниже описывается ферритовая антенна приемника, предназначенного «для охоты на лис» в диапазоне 38—40 *Мгц*. Антенна собирается на двух стержнях из материала Ф-20 диаметром 12 и длиной 150 *мм*. Антенные катушки стержней наматываются на полистироловом каркасе прогрессивным шагом так же, как и в телевизионной антенне. Индуктивность катушки антенны составляет около 2 *мкгн*. Число витков в каждой катушке 15—16. Длина катушки 35 *мм*. В качестве входной лампы в таком приемнике целесообразно использовать лампу типа 1Ж17Б или 1Ж18Б, которые обладают малой входной емкостью и большим входным сопротивлением. Ферритовую антенну следует включить по схеме с емкостным переходом — разделительным конденсатором малой емкости (порядка 5—6 *пф*). Длина соединительных проводов должна быть минимальной — не более 20—30 *мм* от антенны до сетки лампы. Приемник желательно выполнить небольшим по габаритам. Обычно с помощью ремней он бывает подвешен на груди оператора — «охотника за лисами».

Несколько советов, полезных при использовании такой антенны для «охоты на лис» в диапазоне метровых волн. Как уже говорилось выше, диаграмма направленности, точнее ее однонаправленность, регулируется изменением расстояния между телом оператора и антенной. Наилучшая диаграмма с выбранной антенной получается при рас-

стоянии 7—8 *см* от корпуса оператора. Следует иметь в виду, что при приближении к передатчику сила сигнала даже на «минимуме» диаграммы направленности, т. е. при расположении оператора спиной к объекту поиска, возрастает настолько, что становится трудно отличить максимум от минимума. Чтобы облегчить поиски в этих условиях, целесообразно на время уменьшить чувствительность приемника. Это легко сделать, уменьшив анодное напряжение в усилителях промежуточной частоты.

Некоторые затруднения возникают при «охоте на лис» в лесу. Особенно это относится к крупноствольному лесу, где деревья отстоят друг от друга на 3—5 *м*. Поле электромагнитных волн носит в этом случае интерференционный характер. Это проявляется как в изменении силы сигнала, так и в изменении направления на передатчик, определяемым с помощью поискового приемника. В частности, если крупное дерево находится справа от оператора (на расстоянии до 3—4 *м*), то и направление прихода радиоволн отклонится вправо, если сзади, то минимум диаграммы «притупится». Целесообразно для более точного определения направления выбирать открытые места — просеки и поляны, затем, выбрав ориентир или определив азимут передатчика, двигать до следующего открытого места.

13. ФЕРРИТОВАЯ АНТЕННА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН

До сих пор, описывая различные антенные устройства на ферритах и упоминая о диаграмме направленности их, мы основное внимание уделяли эффективности антенны. Направленность антенны была вспомогательным фактором.

Однако в ряде случаев возможность получения направленной антенны становится основным, решающим фактором, обусловливающим необходимость применения ферритовой антенны. Точное определение направления прихода радиоволн, знание азимута передатчика очень важно в навигации — морской и воздушной, при воздушных полетах в условиях плохой видимости и т. д. Открытая советскими спутниками Земли эра космических полетов еще более повышает интерес к радионавигации. Миллионы людей во всем мире с восхищением наблюдали за движением спутников визуально. Применение средств радионаблюдения с точным определением направления прихода радиоволн,

излучаемых спутниками, расширяет возможности научных наблюдений и может дать ценные сведения о траектории движения спутников, об особенностях распространения радиоволн и т. д.

Здесь будет описана простейшая ферритовая антенна для определения направления прихода радиоволн (азимута) на частоте 40 *Мгц*.

В такой антенне необходимо принять специальные меры, предотвращающие искажение диаграммы направленности, а также влияние самого оператора (вследствие антенного эффекта) на результаты радионаблюдения.

Под антенным эффектом обычно понимается отсутствие полной симметрии антенны, проявляющееся в виде ошибок

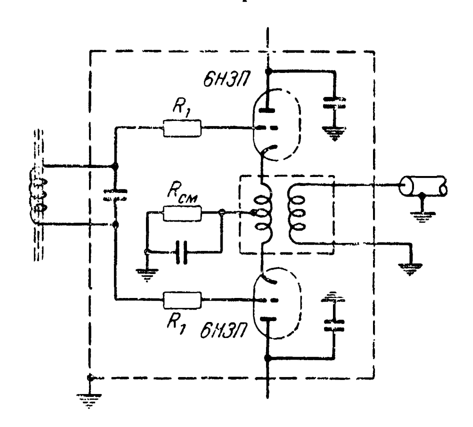


Рис. 40. Схема ферритовой антенны для определения направления прихода радиоволн в диапазоне УКВ.

при определении азимута, а также в виде «замытия» нуля диаграммы, что также ухудшает результаты радионаблюдений.

Азимут радиопередатчика определяется установкой антенны в такое положение, когда сила сигнала минимальна. Это положение антенны относительно направлений магнитного меридиана отмечается по специальной угловой шкале в градусах.

Электрическая схема антенны приведена на рис. 40. Антенный контур — три антенные катушки, намотанные на трех параллельных стержнях, и подстроечный конденсатор подключен к входу двухтактного катодного повторителя.

В катодной цепи его включен симметрирующий трансформатор, обеспечивающий переход от симметричной схемы к несимметричному кабелю. Конструкция трансформатора описана далее. В качестве ламп этого каскада может быть использован двойной триод 6Н3П или же лампы 1Ж17Б. Кабель подключается к несимметричному входу обычного приемника. В цепи сеток триодов включены малые сопротивления типа УЛИ величиной в несколько ом для предотвращения самовозбуждения.

Для устранения антенного эффекта антенный контур вместе с входными лампами и трансформатором заключается в металлический экран (жесть, латунь) со щелью, проходящей через весь экран параллельно антенным стержням. При монтаже устройства следует обеспечить максимальную блокировку цепей питания накала и анода по высокой частоте.

Поворотное устройство антенны может быть выполнено из металла и должно обеспечить поворот на угол до 200°. В нем необходимо установить упоры, предохраняющие кабель от перекручивания.

К выбору стержней для антенны следует подходить с точки зрения получения максимальной эффективности ее. Хорошие результаты дает антенна, собранная на стержнях диаметром 25 *мм* с проницаемостью $\mu_0=20$. Число витков антенных катушек равно 12 при шаге намотки 10 *мм*.

14. СИММЕТРИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ АНТЕНН

Наиболее распространенными телевизионными антеннами являются симметричные антенны (горизонтальный диполь и его модификации). Вход телевизоров обычно несимметричен и для связи антенн с телевизором применяется в большинстве случаев несимметричный коаксиальный кабель. При прямом соединении симметричной антенны с несимметричным входом телевизора при использовании такого кабеля возникают потери энергии, ослабляется чувствительность установки и создаются многократные отражения. Для избавления от подобных явлений применяется простейшее симметрирующее устройство типа U-колена.

Более совершенным симметрирующим устройством является «запирающий стакан», не имеющий ряда конструктивных недостатков U-колена. Однако оба эти устройства являются узкодиапазонными, в значительной степени

утрачивающими свои свойства уже при расстройках, превышающих 5% от основной рабочей частоты.

Применяя ферриты, можно изготовить более компактное симметрирующее устройство, в котором можно достаточно просто осуществлять перестройку в широком диапазоне частот.

На рис. 41 показано такое устройство в разрезе. Как видно из рисунка, фидер в стакане уложен спирально. Таким образом достигается значительное «укорачивание» размеров устройства. Частота настройки зависит от числа витков и диаметра спирали. В устройстве без феррита спираль из кабеля РК-1 имеет 13 витков, внешний диаметр ее равен внутреннему диаметру стакана (40 *мм*), выполненного из дюралюминиевой трубы. На верхнюю крышку устройства, изготовленную из высокочастотного диэлектрика (полистирола, органического стекла), выводятся к соответствующим зажимам жила и оболочка фидера. К этим зажимам прикрепляются также выводы диполей антенны. Нижняя металлическая крышка стакана (латунь) плотно соединена со стаканом. Высота стакана равна 250 *мм*. Если уменьшить внешний диаметр спирали до 25 *мм* и увеличить число витков до 20, то симметрирующее устройство можно настроить на частоту 75 *Мгц*.

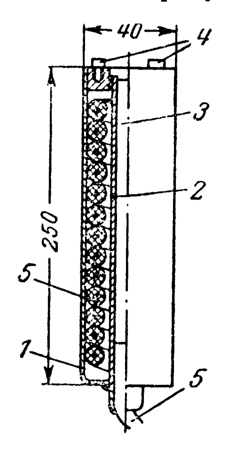


Рис. 41. Симметрирующее устройство телевизионных антенн с применением ферритов.

1 — корпус; *2* — втулка; *3* —ферритовый стержень; *4* — место крепления полудиполей; *5* — фидер.

Более совершенным и удобным в эксплуатации является симметрирующее устройство, в котором используется ферритовый сердечник для перестройки. Отличительной особенностью его от описанного выше является введение внутрь спирали ферритового стержня. Это позволяет, перемещая стержень с помощью простейшего механизма, изменять частоту настройки устройства без изменения размеров спирали. Внутрь спирали вводится также направляющая втулка, которая облегчает перемещение ферритового стержня. В качестве ферритового стержня использован стержень средневолновой ферритовой антенны (диаметр 8 *мм*, длина 200 *мм*, $\mu_0=600$). Введение стержня позволило плавно

изменять частоту настройки симметрирующего устройства от 42 до 85 *Мгц*.

Описанные устройства испытывались в качестве симметрирующих устройств и по сравнению с обычным U-коленом дали лучшие результаты, увеличив четкость изображения.

15. АНТЕННЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ НА ФЕРРИТАХ

Как уже неоднократно указывалось выше, антенные трансформаторы, используемые для подключения несимметричного кабеля к симметричной антенне, играют важную роль в схемах с применением ферритовых антенн. Назначением их является не только трансформация сопротивлений сопрягаемых элементов, но и обеспечение перехода от симметричной антенны к несимметричному входу приемника.

Особые трудности возникают при изготовлении трансформаторов в коротко- и ультракоротковолновом диапазонах, где различия в величинах паразитных емкостей частей обмотки приводят к нарушению симметрии антенны. Следствием этого является появление антенного эффекта, «замытие» нуля диаграммы и т. д.

Простейшим антенным трансформатором является «воздушный» трансформатор (не имеющий сердечника), обладающий весьма малым частотным перекрытием, вследствие большой индуктивности рассеяния (рис. 42,*а*). Значительно более совершенным является антенный трансформатор, обмотки которого располагаются на ферритовом торе (рис. 42,*б*). Еще более совершенным является трансформатор с индуктивным шлейфом.

Трансформатор с индуктивным шлейфом позволяет значительно уменьшить индуктивность рассеяния трансформатора и тем самым дает возможность расширить рабочий диапазон частот. Кроме того, подобному трансформатору свойственна высокая симметрия, так как емкостная связь между обмотками трансформатора сведена до минимума.

Устройство трансформатора приведено на рис. 43. Как видно из эквивалентной схемы трансформатора (рис. 42,*в*), связь между первичной и вторичной обмотками, расположенными на тороидальных сердечниках, изготовленных из магнитного материала с большой проницаемостью, осуществляется при помощи объемного витка—индуктивного шлейфа, образованного корпусом—экраном трансформатора и центральным стержнем, стягивающим всю конструк-

цию. Корпус трансформатора и центральный стержень выполнены из посеребренной латуни.

Экспериментальное исследование различных конструкций показало, что конструкция трансформатора с индуктивным шлейфом содержит в себе большие потенциальные возможности, позволяя значительно улучшить параметры антенных трансформаторов в широком диапазоне частот.

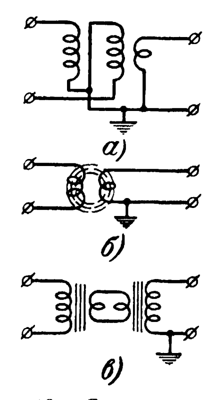


Рис. 42. Симметрирующие антенные трансформаторы.

а—воздушный, выполненный по схеме В. Д. Кузнецова; *б* — трансформатор на торе; *в* — трансформатор с индуктивным шлейфом.

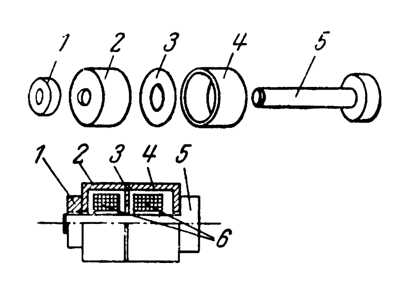


Рис. 43. Трансформатор с индуктивным шлейфом.

1 — гайка; *2* и *4* — чашки корпуса; *3* — разделительная шайба; *5*—стяжной болт; *6*—ферритовые кольца.

Рассеяние в трансформаторе с индуктивным шлейфом уменьшено за счет применения ферритовых тороидальных сердечников с проницаемостью порядка сотен *гс/э*, использования особой намотки тороидов — пучком параллельных проводов, закрывающих бóльшую часть поверхности тороидов, и благодаря высокой связи между обмотками трансформатора и объемным витком, что достигается особой конструкцией витка-экрана, в основу которой заложено стремление приблизить экран к обмоткам торов.

Решающим фактором, обеспечивающим расширение диапазона частот антенного трансформатора, оказывается правильный выбор магнитного материала сердечников. Изучение особенностей поведения магнитных материалов в широком диапазоне частот показало, как уже неоднократно говорилось, что, начиная с некоторой (граничной) частоты, магнитная проницаемость материала μ начинает постепенно уменьшаться при увеличении частоты.

Работа на этом участке магнитной характеристики сулит известные перспективы с точки зрения расширения рабочего диапазона частот устройств, так как в этой области замедляется рост реактивного сопротивления при увеличении частоты. Между тем в известных до сих пор устройствах это свойство ферритов не использовалось, очевидно, вследствие больших потерь, которыми сопровождается переход в эту область частот. Более того, частота, после которой магнитная проницаемость начинала падать, считалась обычно конечной границей рабочего участка для данного типа материала. Выбирая для антенного трансформатора ферриты соответствующей проницаемости, мы получаем возможность увеличить рабочий диапазон частот его.

Размеры антенного трансформатора, в котором используется этот принцип, выбирают исходя из размеров имеющихся стандартных ферритовых колец, а также руководствуясь конструктивными требованиями.

Как показывает практика, наилучшими получаются трансформаторы, у которых зазоры между кольцами и корпусом трансформатора составляют 1—2 *мм*. Для уменьшения емкостной связи между кольцами устанавливается электростатический экран — диск с отверстием, диаметр которого несколько превышает диаметр стяжного болта.

Хорошие результаты в диапазоне УКВ (30—70 *Мгц*) дает трансформатор на кольцах из феррита Ф-100 с внешним диаметром 11 и внутренним 6 *мм*, ширина кольца 5 *мм*. Число витков в обмотках трансформатора обычно берется от 10 до 20 (в зависимости от диапазона и назначения трансформатора оно может изменяться). Размеры корпуса: внешний диаметр 15 *мм*, внутренний 12 *мм*, диаметр стяжного болта 5 *мм*. Корпус изготовляется из латуни. Поверхность его покрывается серебром.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 1 р. 40 к.

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Вышли из печати следующие выпуски:

С Э. Хайкин, **Словарь радиолюбителя** (издание второе, переработанное и дополненное), 608 стр., тираж 110 000 экз. (первый завод — 10 000 экз.), цена в переплете 21 р. 40 к., вып. 355.

Содержит истолкование большого числа понятий и явлений, с которыми приходится встречаться при чтении радиотехнической литературы. Кроме основного разъяснения терминов на русском языке, в словаре помещены переводы большинства слов на английский, немецкий и французский языки.

Г. И. Бялик, **Цветное телевидение**, 128 стр и четыре цветные вкладки, тираж 74 500 экз., ц. 3 р. 50 к., вып. 358.

В. М. Липкин, **Декатроны и их применение**, 64 стр., тираж 30 000 экз., цена 1 р. 50 к., вып. 359.

М. Гурка, **Магнитофон**, перевод с чешского А. И. Колесникова, 175 стр., тираж 35 000 экз., ц. 3 р. 85 к., вып. 360.

Б. В. Кольцов, **Миниатюрные громкоговорители для приемников на транзисторах**, 43 стр., тираж 60 000 экз., ц. 1 р. 10 к., вып. 361.

В. К. Лабутин, **Простейшие конструкции на транзисторах**, 64 стр., тираж 75 000 экз., ц. 1 р. 45 к, вып. 362.

Г. Б. Богатов, **Электролюминесценция и возможности ее применения**, 48 стр., тираж 30 000 экз., ц. 1 р. 15 к., вып. 364.

В. И. Пархоменко, **Магнитные головки**, 72 стр., тираж 35 000 экз., ц. 1 р. 65 к., вып. 365.

Печатаются:

Е. А. Левитин, **Электронные лампы.**

В. В. Яковлев, **Приемники на транзисторах.**

Г. Г. Костанди и В. В. Яковлев, **УКВ приемники для любительской связи.**

Госэнергоиздат заказов на книги не принимает и книг не высылает. Книги, выходящие массовым тиражом, высылают наложенным платежом (без задатка) отделения «Книга-почтой».

Заказы можно направлять: г. Москва, В-218, 5-я Черемушкинская, 14. Книжный магазин № 93 «Книга-почтой».

Рекомендуем заказывать литературу только по плану текущего года. Книги «Массовой радиобиблиотеки» расходятся очень быстро, и поэтому выпуски прошлых лет давно уже все распроданы.

Высылку книг наложенным платежом производит также Магазин технической книги № 8, «Книга-почтой», Москва, Петровка, 15.
